

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**CAMBIO DE USO DE TIERRAS Y SU IMPACTO EN LA COBERTURA
VEGETAL DEL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO**

2015 - 2024

PRESENTADA POR:

BETUEL OJEDA AMANQUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by Universidad Privada San Carlos is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1.61%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 7 NOV 2025, 7:20 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.32%

● CHANGED TEXT
1.28%

Report #29817251

BETUEL OJEDA AMANQUI // CAMBIO DE USO DE TIERRAS Y SU IMPACTO EN LA COBERTURA VEGETAL DEL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024 RESUMEN La pérdida de vegetación frente al incremento del uso de suelos ha degradado los ecosistemas en el distrito de Capachica. El objetivo principal fue analizar el cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024. La metodología aplicada en la investigación fue cuantitativa no experimental, con el uso del software Qgis y la plataforma Google Earth Engine (GEE), donde se analizaron multi temporalmente las imágenes satelitales Sentinel-2 con el modelo Random Forest, luego la validación de la clasificación se realizó mediante matrices de confusión y el cálculo de indicadores estadísticos como Kappa, Accuracy y coeficientes de correlación. Los resultados muestran que la vegetación se ha reducido, pasando de 5.686 km² en 2015 a 2.136 km² en 2024, en los cuerpos de agua, se observa una reducción de 2.691 km² a 1.132 km², las áreas agrícolas han mostrado una tendencia creciente de 1.214 km² a 1.902 km², Las zonas urbanas también han registrado un aumento progresivo, desde 0.07 km² a 0.806 km², los suelos eriazos pasaron de 91.55 km² a 98.984 km², lo que indica una reducción constante de la vegetación, con correlaciones negativas respecto a zonas urbanas ($R^2 = -0.84$) y suelos eriazos ($R^2 = -0.83$), además de valo



UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS
CAMBIO DE USO DE TIERRAS Y SU IMPACTO EN LA COBERTURA
VEGETAL DEL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO
2015 - 2024

PRESENTADA POR:

BETUEL OJEDA AMANQUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:


Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:


Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:


Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub área: Ingeniería Ambiental.

Línea de investigación: Sensores Remotos.

Puno, 20 de noviembre del 2025.

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi faro en medio de la incertidumbre y mi refugio en los momentos de dificultad. Su guía ha estado presente en cada paso, dándome fortaleza cuando sentí flaquear y llenando de luz mi camino cuando más lo necesitaba.

A mi madre, a quienes debo más de lo que las palabras pueden expresar. Gracias por su amor incondicional, por su ejemplo de perseverancia y por estar ahí en cada etapa de este proceso.

A mis amigos, quienes supieron acompañarme con afecto, empatía y alegría cuando más lo necesitaba. Agradezco de corazón cada conversación, cada risa, cada palabra de ánimo que hicieron más livianos los momentos difíciles.

Betuel Ojeda Amanqui

AGRADECIMIENTOS

- *Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Privada San Carlos – Puno por haberme brindado la oportunidad de formarme en un entorno académico que promueve el conocimiento, la ética y el compromiso con la sociedad.*
- *A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, le reconozco con aprecio por proporcionar una formación académica sólida y alineada con las problemáticas ambientales que enfrenta nuestra región y país.*
- *De manera especial, agradezco a mi asesor Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda, por su dedicación, por compartir su experiencia y por brindarme orientación a lo largo de todo este proceso. Su apoyo constante, sus observaciones acertadas y su paciencia fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.*
- *También quiero agradecer sinceramente a los miembros del jurado, quienes con su experiencia y rigurosidad académica aportaron valiosas observaciones que enriquecieron el contenido de esta investigación.*

Betuel Ojeda Amanqui

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	17
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1. CAMBIO DE USO DE TIERRA	21
2.1.2. COBERTURA VEGETAL	22
2.1.3. ECOSISTEMAS	22
2.1.4. ECOSISTEMAS ALTOANDINOS	23
2.1.5. DINÁMICA DEL PAISAJE	24
2.1.6. OBSERVACIÓN REMOTA	25
2.1.7. IMÁGENES SATELITALES	25
2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	26
2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO	26
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	27
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL	27
2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	28
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	29
3.2.1. POBLACIÓN	29
3.2.2. MUESTRA	29
3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	29
3.3.1. MÉTODOS	29
3.3.2. MATERIALES	30
3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	33
3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	34

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE TIERRA Y LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2015- 2024.	36
4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DE TIERRA SOBRE LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2015 Y 2024	45
4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	48
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXOS	58

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Operacionalidad de variables.	34
Tabla 02: Estadística sobre cambios de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024.	40
Tabla 03: Matriz de confusión y validación global de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024.	43
Tabla 04: Validación mediante kappa y accuracy.	44
Tabla 05: Relación del impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Cambio de uso de suelo.	21
Figura 02: Cobertura vegetal.	22
Figura 03: Ecosistemas altoandinos.	23
Figura 04: Dinámica del paisaje.	24
Figura 05: Elemento de un programa de detección a distancia.	25
Figura 06: Mapa de ubicación del área de estudio.	28
Figura 07: Cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.	37
Figura 08: Mapa de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015.	38
Figura 09: Mapa de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2024.	39
Figura 10: Regresión lineal de cambios de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024.	42
Figura 11: Relación del impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal.	47

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia.	59
Anexo 02: Obtención de las imágenes satelitales Sentinel-2.	60
Anexo 03: Clasificación supervisada en Google Earth Engine.	61
Anexo 04: Área de la cobertura vegetal y uso de suelo del distrito de Capachica.	62
Anexo 05: Validación del modelo Random Forest en Google Earth Engine.	63
Anexo 06: Mapas temáticos.	68

RESUMEN

La pérdida de vegetación frente al incremento del uso de suelos ha degradado los ecosistemas en el distrito de Capachica. El objetivo principal fue analizar el cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024. La metodología aplicada en la investigación fue cuantitativa no experimental, con el uso del software Qgis y la plataforma Google Earth Engine (GEE), donde se analizaron multi temporalmente las imágenes satelitales Sentinel-2 con el modelo Random Forest, luego la validación de la clasificación se realizó mediante matrices de confusión y el cálculo de indicadores estadísticos como Kappa, Accuracy y coeficientes de correlación. Los resultados muestran que la vegetación se ha reducido, pasando de 5.686 km² en 2015 a 2.136 km² en 2024, en los cuerpos de agua, se observa una reducción de 2.691 km² a 1.132 km², las áreas agrícolas han mostrado una tendencia creciente de 1.214 km² a 1.902 km², Las zonas urbanas también han registrado un aumento progresivo, desde 0.07 km² a 0.806 km², los suelos eriazos pasaron de 91.55 km² a 98.984 km², lo que indica una reducción constante de la vegetación, con correlaciones negativas respecto a zonas urbanas ($R^2 = -0.84$) y suelos eriazos ($R^2 = -0.83$), además de valores de $R^2 > 0.70$, lo que evidencia que estas variables explican gran parte de la pérdida registrada. Se concluye que el cambio de uso de suelo ha generado un impacto significativo en la disminución de la cobertura vegetal, lo que pone de manifiesto la urgencia de aplicar políticas y estrategias de gestión territorial enfocadas en la conservación y restauración de los ecosistemas de la zona.

Palabras claves: Cobertura vegetal, Degradación, Ecosistemas, Imágenes satelitales, Uso de suelo.

ABSTRACT

The loss of vegetation due to increased land use has degraded the ecosystems in the Capachica district. The main objective was to analyze land use change and its impact on vegetation cover in the Capachica district, Puno, during the period from 2015 to 2024. The methodology used in this research was quantitative and non-experimental, employing the QGIS software and the Google Earth Engine (GEE) platform. Sentinel-2 satellite imagery was analyzed over time using the Random Forest model. The classification accuracy was validated using confusion matrices and statistical indicators such as Kappa, accuracy, and correlation coefficients. The results show that vegetation cover decreased from 5,686 km² in 2015 to 2,136 km² in 2024. Water bodies also decreased, from 2,691 km² to 1,132 km². Agricultural areas showed an increasing trend, from 1,214 km² to 1,902 km². Urban areas also increased, from 0.07 km² to 0.806 km². Bare land increased from 91.55 km² to 98.984 km². These findings indicate a consistent decline in vegetation cover, with negative correlations with urban areas ($R^2 = -0.84$) and bare land ($R^2 = -0.83$), and R^2 values greater than 0.70, suggesting that these variables explain a significant portion of the observed loss. It is concluded that land use change has had a significant impact on the decrease in vegetation cover, highlighting the urgent need for land management policies and strategies focused on the conservation and restoration of the region's ecosystems.

Keywords: Vegetation cover, Degradation, Ecosystems, Satellite imagery, Land use.

INTRODUCCIÓN

En el caso particular del distrito de Capachica, ubicado en la región Puno, se han observado importantes cambios en la ocupación del territorio durante los últimos años. La presión por habilitar nuevas áreas agrícolas, sumada a prácticas de manejo poco sostenibles, ha traído consigo la reducción o sustitución de la vegetación nativa, que cumple funciones vitales para la conservación del suelo y la regulación de los recursos hídricos. Esta situación podría estar generando impactos ambientales y sociales importantes, especialmente en los medios de vida de las poblaciones rurales. No obstante, existe una escasa disponibilidad de estudios técnicos que permitan dimensionar con precisión la magnitud de estos cambios y su evolución en el tiempo, específicamente entre los años 2015 y 2024.

En este contexto, se hace imprescindible llevar a cabo un análisis detallado sobre la dinámica del uso del suelo en Capachica y su efecto sobre la cobertura vegetal, con el objetivo de aportar información útil para la planificación territorial, la protección de los ecosistemas y el desarrollo sostenible de la zona.

En la ciudad de Cruzú Cuatía, Argentina, el objetivo del estudio fue proyectar un escenario lineal de uso del suelo para el año 2030. Se aplicó un modelo basado en redes neuronales artificiales disponible en el Modelador de Cambios del Terreno (LCM) del software Idrisi Selva. La simulación se apoyó en dos mapas de uso del suelo, divididos en cinco categorías, correspondientes a dos períodos históricos diferentes. Los resultados generaron mapas que indican áreas con alta probabilidad de transición hacia la categoría de Área Urbana Consolidada, alcanzando una precisión superior al 72%. Además, los escenarios proyectados para 2030 mostraron un crecimiento notable en la superficie destinada a la urbanización consolidada. Para validar el modelo, se realizó un análisis detallado por categoría mediante la evaluación de la fiabilidad global y el índice Kappa, confirmando la exactitud de las predicciones (Gómez, 2020).

En la presente investigación se formuló como hipótesis; el cambio de uso de tierras y su impacto en la cobertura vegetal es significativo en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 y 2024. Por otra lado las variables de la investigación fueron; Causa o variable independiente (VI): Cambio de uso de tierra (VD): Impacto en la cobertura vegetal.

También la investigación se divide en cuatro capítulos; el capítulo I, se muestra el planteamiento del problema, antecedentes y objetivos de la investigación, con respecto al cambio de uso de suelo y su impacto en la cobertura vegetal. En el capítulo II, se muestra el marco teórico y conceptual, del uso del suelo, vegetación, imágenes satelitales, así también como el marco normativo vigente, en el capítulo III, se aborda la metodología de la investigación como la ubicación del área de estudio, distrito de Capachica, así también la metodología por objetivo de la investigación, en el capítulo IV, se muestran los resultados de la investigación de acuerdo a los objetivos específicos, también las conclusiones y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A escala mundial, las modificaciones en el uso del suelo representan uno de los principales factores que impulsan la degradación ambiental, la pérdida de especies y los cambios en los sistemas climáticos. La transformación de ecosistemas naturales en zonas agrícolas, urbanas o industriales ha disminuido considerablemente la cobertura vegetal, alterando el equilibrio ecológico y contribuyendo significativamente al calentamiento global. De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), más del 70% de las superficies terrestres no cubiertas por hielo han sido intervenidas por actividades humanas, lo cual ha provocado una considerable reducción o deterioro de la vegetación original (Aguirre et al., 2021).

En el contexto peruano, esta situación también se manifiesta con fuerza. El incremento de la población, la ampliación descontrolada de áreas agrícolas, la minería informal y la urbanización sin planificación han generado una presión creciente sobre los ecosistemas del país. Como resultado, los patrones de uso del territorio han cambiado de forma considerable, afectando principalmente a regiones ambientalmente frágiles, como la zona andina y la amazónica. Diversas entidades, como el Ministerio del Ambiente (MINAM), han alertado sobre la disminución sostenida de la cobertura vegetal y sus consecuencias

negativas en la calidad del suelo, la regulación hídrica y otros servicios ecosistémicos esenciales (Anzoategui et al., 2023).

En el caso particular del distrito de Capachica, ubicado en la región Puno, se han observado importantes cambios en la ocupación del territorio durante los últimos años. La presión por habilitar nuevas áreas agrícolas, sumada a prácticas de manejo poco sostenibles, ha traído consigo la reducción o sustitución de la vegetación nativa, que cumple funciones vitales para la conservación del suelo y la regulación de los recursos hídricos. Esta situación podría estar generando impactos ambientales y sociales importantes, especialmente en los medios de vida de las poblaciones rurales. No obstante, existe una escasa disponibilidad de estudios técnicos que permitan dimensionar con precisión la magnitud de estos cambios y su evolución en el tiempo, específicamente entre los años 2015 - 2024.

En este contexto, se hace imprescindible llevar a cabo un análisis detallado sobre la dinámica del uso del suelo en Capachica y su efecto sobre la cobertura vegetal, con el objetivo de aportar información útil para la planificación territorial, la protección de los ecosistemas y el desarrollo sostenible de la zona.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo es el cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuánto es el cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024?
- ¿Cómo es el impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Salvador et al. (2020), en la zona oriental Metropolitana de Toluca, abarcando los municipios de Lerma, Metepec, Ocoyoacac y San Mateo Atenco, México, tuvo como finalidad analizar las variaciones demográficas y en el uso del suelo durante el periodo 1980-2017. Para ello, se reunió información de imágenes satelitales de Basemap obtenidas a través de ArcGIS. La identificación y clasificación de los tipos de uso de suelo se efectuó mediante una interpretación visual de las imágenes, aplicando los criterios metodológicos propuestos por Jensen (2015). Los hallazgos mostraron un crecimiento en la población de 308,262 personas entre 1980 y 2015. En relación con el uso del suelo, aunque la actividad agrícola continuó siendo predominante, experimentó una reducción del 35.74 %, mientras que las áreas urbanizadas o artificiales aumentaron en un 235.84 %. De igual manera, los cuerpos de agua disminuyeron en un 31.77 %, y la cobertura forestal presentó un ligero aumento del 4.9 %. Estos cambios evidencian un modelo de ocupación territorial condicionado tanto por la configuración geográfica de la región como por el incumplimiento de las normativas de ordenamiento territorial establecidas.

Gómez (2020), en la ciudad de Curuzú Cuatiá, Argentina, con el objetivo del estudio fue proyectar un escenario lineal de uso del suelo para el año 2030. Se aplicó un modelo basado en redes neuronales artificiales disponible en el Modelador de Cambios del Terreno (LCM) del software Idrisi Selva. La simulación se apoyó en dos mapas de uso del suelo, divididos en cinco categorías, correspondientes a dos períodos históricos diferentes. Los resultados generaron mapas que indican áreas con alta probabilidad de transición hacia la categoría de Área Urbana Consolidada, alcanzando una precisión superior al 72%. Además, los escenarios proyectados para 2030 mostraron un crecimiento notable en la superficie destinada a la urbanización consolidada. Para validar

el modelo, se realizó un análisis detallado por categoría mediante la evaluación de la fiabilidad global y el índice Kappa, confirmando la exactitud de las predicciones.

Laborde et al. (2020), en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (RBLT), México. El objetivo de este estudio fue examinar detalladamente la evolución reciente del uso del suelo y la cobertura vegetal en un territorio que alberga los últimos fragmentos de bosque tropical perennifolio (BTP) y bosque mesófilo de montaña (BMM). Esta zona ha sufrido, en las últimas décadas, una pérdida estimada del 60 % de su vegetación original. Para llevar a cabo el análisis, se utilizaron imágenes satelitales de los años 2006, 2011 y 2016, aplicando una técnica de fotointerpretación manual a escala 1:5,000. Los resultados mostraron una deforestación promedio anual del 0.8 % en ese período, siendo las franjas ribereñas con vegetación arbórea las más afectadas, con una disminución cercana a 1,300 hectáreas. También se identificó un cambio de uso de aproximadamente 550 hectáreas de pastizales hacia zonas de cultivo, lo cual indica una transformación en las dinámicas económicas del área. A pesar de que las zonas núcleo han cumplido un rol importante en la conservación del BTP y el BMM, el estudio subraya la necesidad urgente de preservar las franjas ribereñas dentro de la zona de amortiguamiento, debido a su función clave como corredores biológicos.

Martínez et al. (2021), en la cuenca del río Conchos, Chihuahua, México. El objetivo fue analizar la variación en la cobertura del suelo y su vínculo con los procesos de erosión hídrica. Para desarrollar el análisis, se empleó el programa ERDAS Imagine versión 2014 para interpretar los diferentes tipos de cobertura terrestre, mientras que la estimación del riesgo de pérdida de suelo se realizó aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), y el cálculo del escurrimiento se efectuó conforme a lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-011-CNA-2000. Los hallazgos reflejaron una disminución en la superficie de bosque y áreas de pastizal, en contraste con una expansión de zonas agrícolas y matorrales. En cuanto a la erosión, se observaron variaciones en la pérdida

de suelo, con valores máximos de 0.02 y 0.008 toneladas por hectárea en los años 1980 y 2000, respectivamente, elevándose a 0.01 toneladas por hectárea en 2018. En relación con el escurrimiento superficial, este presentó un volumen inicial de 348.38 millones de metros cúbicos en 1980, reduciéndose a 137.36 millones en 2000, para luego incrementarse de forma considerable en 2018, alcanzando los 743.08 millones de metros cúbicos.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Amaya et al. (2024), en la cuenca binacional del río Zarumilla en Perú y Ecuador. El objetivo principal de este trabajo fue examinar la transformación en la cobertura y el uso del suelo en la cuenca durante el periodo 1992-2022, así como realizar una proyección al año 2040 tomando en cuenta las tendencias actuales y los patrones históricos. Para ello, se utilizaron mapas temáticos correspondientes a los años 1992 y 2022. La simulación futura se desarrolló mediante un modelo que combinó cadenas de Markov con autómatas celulares, incorporando tanto variables ambientales como factores relacionados con la actividad humana, con el fin de obtener una proyección más realista. Los resultados del análisis revelaron una pérdida neta de 11,378 hectáreas de cobertura boscosa durante el periodo evaluado, siendo el 87.7 % de esta deforestación registrada en el lado ecuatoriano de la cuenca. De mantenerse la misma dinámica, se prevé una pérdida adicional de aproximadamente 10,552 hectáreas de bosque para el año 2040, especialmente en áreas de baja altitud cercanas a ríos y carreteras. Esta tendencia de pérdida forestal resulta alarmante y subraya la necesidad urgente de aplicar políticas de desarrollo sostenible y medidas de ordenamiento territorial por parte de ambos países.

Peña (2021), en la ciudad de Huancayo, Peru, la investigación tuvo como propósito implementar técnicas no supervisadas y mixtas para realizar una clasificación espacial del suelo urbano, considerando variables como el comportamiento especulativo del valor del suelo, el nivel de urbanización y otros factores espaciales, frente a la carencia de datos

actualizados y confiables sobre el entorno urbano. Para el desarrollo del análisis, se utilizaron imágenes multiespectrales (MSI) obtenidas del satélite Sentinel-2. El procesamiento de la información se realizó mediante el algoritmo K-Means, complementado con métodos de aprendizaje automático y validación mediante criterio experto. Los resultados permitieron identificar una clasificación precisa de las zonas urbanas, evidenciando contrastes relevantes con las propuestas actuales de ordenamiento territorial, lo que demuestra el potencial de estas metodologías para fortalecer la gestión urbana y orientar una planificación más adecuada.

Bustincio et al. (2024), en el Área de Conservación Regional Vilacota Maure, localizada en la región de Tacna. La investigación tuvo como propósito examinar las variaciones en el uso del suelo, mediante un análisis multitemporal utilizando imágenes satelitales Landsat correspondientes a los años 2003, 2008, 2013 y 2018, descargadas del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). La metodología se basó en una clasificación supervisada desarrollada en el software QGIS 3.24, y los resultados fueron verificados mediante el índice Kappa. Entre los hallazgos más relevantes se identificó un notable incremento del suelo expuesto del 1.582% entre los años 2013 y 2018, acompañado de una marcada disminución del 18.974% en la cobertura boscosa durante el mismo periodo. Por otro lado, se detectó una leve reducción de 1.215% en la extensión de cuerpos de agua. La validez de la clasificación fue respaldada por el índice Kappa, cuyos valores fluctúan entre el 79% y el 100% según el año evaluado, indicando una concordancia aceptable en los resultados obtenidos.

Bringas (2024), en Cajamarca, Perú, el estudio tuvo como propósito principal identificar las zonas de recarga hídrica en la cuenca del río Rejo, y analizar su vínculo con los cambios en el uso del suelo entre los años 2011 y 2020. Se empleó la metodología de clasificación de usos de suelo propuesta por el Ministerio del Ambiente (2015). Los hallazgos señalaron que, en términos generales, la capacidad de recarga hídrica de la

cuenca experimentó una variación calificada como “moderada” durante el periodo de estudio, debido a que los cambios en el uso del suelo fueron limitados y dependientes en parte de las prácticas de manejo aplicadas. Sin embargo, se detectó un aumento de 12.75 hectáreas en áreas con recarga muy baja y una disminución de 251.87 hectáreas en aquellas con recarga alta, lo que indica un deterioro potencial en la funcionalidad del ecosistema. Estos resultados reflejan una relación directa entre el cambio de uso del suelo y las zonas de recarga, con una influencia negativa más pronunciada en sectores donde predominan actividades extractivas como la minería.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

Loza & Taype (2021), en el distrito altoandino de Cabana, Puno. El presente estudio tuvo como finalidad describir las variaciones temporales en la vegetación y el uso del suelo, frente a la creciente transformación no planificada que afecta tanto las áreas productivas como los servicios ecosistémicos. Para lograrlo, se realizaron análisis supervisados sobre imágenes Landsat con una resolución espectral de 30 metros, capturadas en los meses de marzo y abril durante los años 2000, 2005, 2010 y 2016, identificando las principales asociaciones vegetales y tipos de uso de suelo. Los hallazgos evidenciaron una pérdida aproximada de 2,000 hectáreas en seis tipos de vegetación natural, reduciéndose un 16.27 % del área original de 12,500 hectáreas en un período de 16 años; en 2000 predominaba la asociación *Muhlenbergetum fastigiatae* con un 43.96 %, mientras que en 2016 la mayor cobertura correspondió a *Calamagrostio vicunaro - Festucetum dolichophyllae* con un 47.31 %. Paralelamente, las tierras destinadas a cultivos se incrementaron de 5,133 a 7,115 hectáreas, representando un aumento del 27 % al 37 % del territorio, los suelos degradados crecieron de 35 a 120 hectáreas, las áreas con escasa vegetación pasaron de 17 a 30 hectáreas, y los humedales sufrieron una reducción significativa, disminuyendo de 179 a 29.7 hectáreas. Finalmente, la expansión urbana presentó un crecimiento anual del 40.7 %. Estos resultados reflejan una gestión

territorial deficiente que ha impulsado la pérdida de vegetación y amenaza la sostenibilidad en la explotación de los recursos naturales de la zona.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.
- Determinar el impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. CAMBIO DE USO DE TIERRA

El cambio en el uso del suelo implica destinar un terreno a una función distinta a la que tenía originalmente, por ejemplo, transformar un bosque en zona agrícola, urbana o industrial. Esta alteración suele ir acompañada de la remoción de la cobertura vegetal, modificaciones físicas del terreno y la alteración del equilibrio natural, impulsada generalmente por objetivos económicos o de expansión urbana (Hernández et al., 2022).



Figura 01: Cambio de uso de suelo.

Fuente: (Hernández et al., 2022).

Dichas transformaciones generan impactos ambientales significativos, como la disminución de especies, erosión del suelo y mayor emisión de gases contaminantes. También pueden provocar tensiones sociales y desequilibrios en las comunidades

locales, especialmente cuando no hay una planificación que considere la sostenibilidad y el respeto por el entorno (Walteros et al., 2022).

2.1.2. COBERTURA VEGETAL

La cobertura vegetal hace referencia al conjunto de especies vegetales como hierbas, arbustos y árboles que crecen de forma natural o han sido sembradas sobre el suelo. Esta vegetación actúa como una barrera protectora que reduce la erosión, regula la temperatura del ambiente y conserva la humedad del terreno (Arias et al., 2022).



Figura 02: Cobertura vegetal.

Fuente: (Arias et al., 2022).

También cumple un papel esencial en el mantenimiento del equilibrio ambiental, al servir como hábitat y fuente de alimento para numerosos organismos. Además, mejora la calidad del aire mediante la captura de dióxido de carbono y la producción de oxígeno. Preservarla es crucial para la estabilidad de los ecosistemas y la lucha contra el cambio climático (Anzoategui et al., 2023).

2.1.3. ECOSISTEMAS

Un ecosistema es una unidad natural compuesta por organismos vivos como plantas, animales y microorganismos que conviven en un entorno común e interactúan constantemente con factores físicos como el suelo, el agua, el aire y el clima. A través de

estas interacciones, se produce un flujo de energía y nutrientes que mantiene el equilibrio y permite la continuidad de la vida (Achiquen et al., 2021).

La estructura y funcionamiento de cada ecosistema varía según condiciones como el clima, la altitud o la presencia de recursos hídricos, lo que da lugar a diferentes tipos, como selvas, lagunas, desiertos o zonas pantanosas. El buen estado de un ecosistema depende de la armonía entre sus elementos, y cualquier alteración puede tener consecuencias negativas tanto para las especies que alberga como para los seres humanos (Achiquen et al., 2021).

2.1.4. ECOSISTEMAS ALTOANDINOS

Los ecosistemas altoandinos son ambientes naturales situados en las alturas más elevadas de la cordillera de los Andes, usualmente por encima de los 3,000 metros de altitud. Se caracterizan por condiciones duras como temperaturas bajas, fuerte radiación solar y poco oxígeno, lo que ha generado una flora y fauna especializadas para sobrevivir en estos lugares (Cervantes et al., 2021).

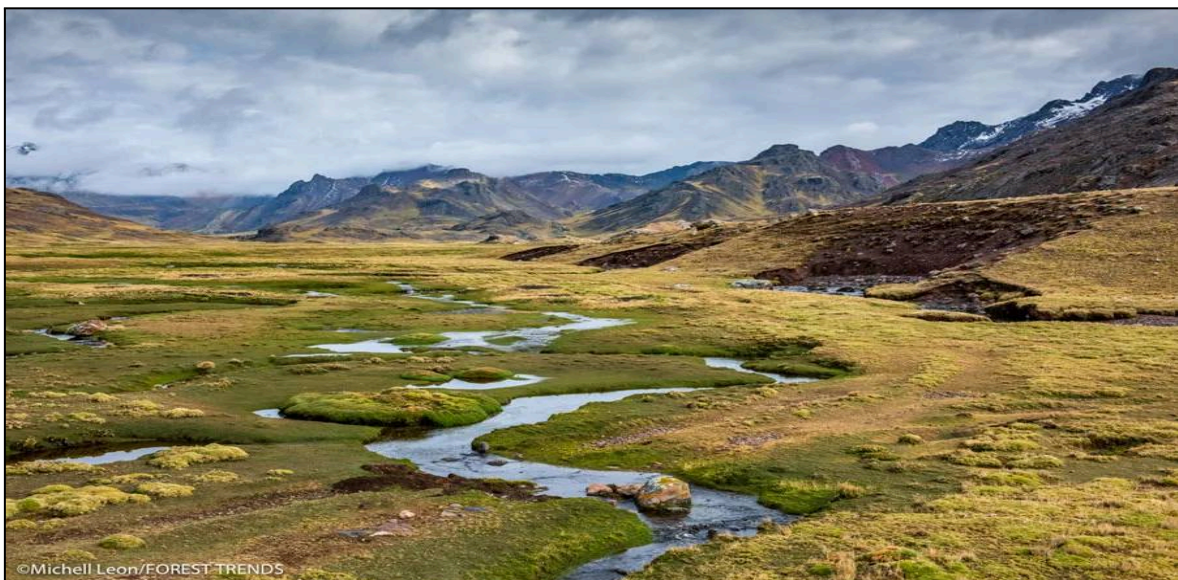


Figura 03: Ecosistemas altoandinos.

Fuente: (Cervantes et al., 2021).

Entre estos ecosistemas destacan los bofedales, pajonales, puna y queñuales, que desempeñan funciones vitales como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y el apoyo a las comunidades locales. Sin embargo, estos ambientes enfrentan amenazas significativas debido a la acción humana, como el sobrepastoreo, la transformación del suelo y los efectos del cambio climático (Aguirre et al., 2021).

2.1.5. DINÁMICA DEL PAISAJE

La dinámica del paisaje describe las transformaciones que suceden en el medio natural y social a lo largo del tiempo. Estas modificaciones pueden originarse por procesos naturales como el clima o eventos geológicos, así como por actividades humanas como la expansión urbana, la agricultura o la tala de bosques. En conjunto, estos cambios alteran la estructura, forma y función del paisaje (Zapana et al., 2021).

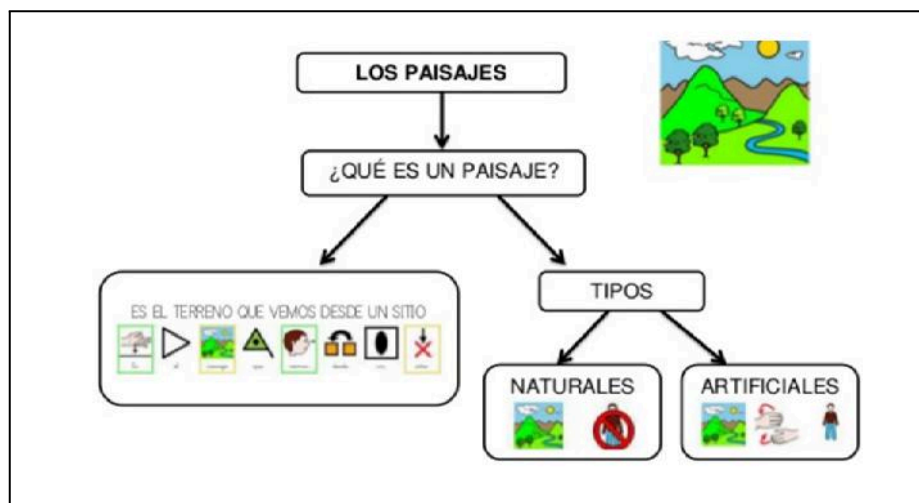


Figura 04: Dinámica del paisaje.

Fuente: (Zapana et al., 2021).

Comprender esta dinámica es fundamental para analizar cómo las acciones humanas afectan el ambiente y para promover un manejo territorial sostenible. También ayuda a detectar patrones de cambio que influyen en la biodiversidad, los recursos naturales y el bienestar de las comunidades que viven en esos lugares (Zapana et al., 2021).

2.1.6. OBSERVACIÓN REMOTA

Aunque no es el método óptimo debido a sus numerosas limitaciones, la observación a distancia, posible gracias a la teledetección, permite obtener información sin estar físicamente en la región o el entorno que se desea evaluar y/o investigar. Esta observación a distancia se denomina "ciencia de la tierra", ya que su objetivo principal es tomar fotografías con este fin o analizar las imágenes que se recogen (Monsalve et al., 2021).

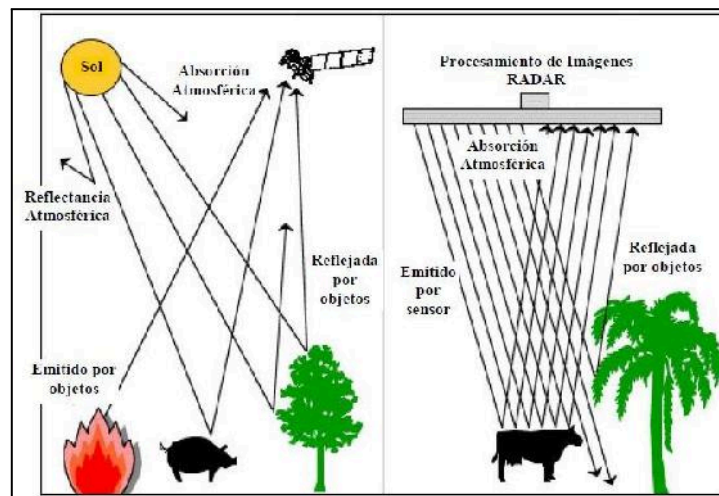


Figura 05: Elemento de un programa de detección a distancia.

Fuente: (Monsalve et al., 2021).

Las imágenes de satélite, como las de LANDSAT, se utilizan para la observación a distancia. Estas imágenes tienen 8 bandas espectrales, que al combinarse producen una variedad de imágenes con diferentes colores que pueden utilizarse para trabajos de tipo interpolación. Como resultado, sus aplicaciones son variadas, incluyendo la vigilancia y/o el análisis térmico. Todo ello es posible gracias a que la resolución espacial de estas imágenes oscila entre 15, 30, 60 y 120 m (Reyes & Barrera, 2019).

2.1.7. IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes satelitales son representaciones visuales de la superficie del planeta obtenidas por sensores remotos a bordo de satélites en órbita. Estos sensores captan la

energía reflejada por la Tierra en distintas bandas del espectro electromagnético, lo que permite generar imágenes detalladas que muestran elementos como la vegetación, cuerpos de agua, áreas construidas y características del terreno. Debido a su amplia cobertura espacial y a la frecuencia con la que se capturan, permiten observar grandes áreas del territorio de forma periódica (Mejía, 2020).

2.2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

- ❖ **Ecosistemas:** Los ecosistemas son sistemas naturales integrados por organismos vivos, tanto vegetales como animales, que interactúan entre sí y con su entorno físico, que incluye elementos abióticos como el suelo, el agua y el clima (González & Meira, 2021).
- ❖ **QGIS:** Es un programa de software de suministro abierto para sistemas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Del Carmen et al., 2023).
- ❖ **R-Studio:** Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Ofrece funciones de gestión del espacio de trabajo, una consola, gráficos y un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código (Del Carmen et al., 2023).
- ❖ **Suelo:** es la parte superior de la corteza terrestre, resultado de la transformación progresiva de rocas y materia orgánica a lo largo del tiempo (Encinas et al., 2019)
- ❖ **Vegetación:** se refiere al conjunto de especies vegetales que crecen, ya sea de forma espontánea o inducida, en un área específica. Abarca desde plantas pequeñas hasta árboles de gran tamaño (Olivares & López, 2019).

2.3. MARCO TEÓRICO NORMATIVO

En 2024, Perú refuerza su marco normativo en torno a la gestión de recursos hídricos y la conservación de ecosistemas acuáticos, elementos fundamentales para el desarrollo sostenible y la protección ambiental. La Ley N.º 30509, que promueve la inversión en la

gestión sostenible de recursos hídricos, tiene como objetivo fomentar el uso eficiente y responsable del agua en todos los sectores. Esta legislación establece un marco regulatorio que impulsa la inversión en tecnologías limpias y prácticas sostenibles, así como la recuperación y conservación de fuentes hídricas. Además, subraya la importancia de monitorear la calidad del agua y la necesidad de realizar estudios que analicen el estado de los ecosistemas acuáticos.

Por otro lado, el Decreto Supremo N.º 004-2024-MINAM introduce nuevas directrices para el monitoreo y gestión de la calidad del agua, incorporando tecnologías avanzadas como el uso de imágenes satelitales para evaluar cuerpos de agua. Este decreto destaca la necesidad de establecer sistemas de monitoreo que faciliten la detección temprana de problemas relacionados con la calidad del agua, como la eutrofización y el crecimiento excesivo de algas, y promueve acciones preventivas y de mitigación. Asimismo, se estipula que las autoridades ambientales deben colaborar con las comunidades locales y otros actores en la gestión de recursos hídricos, asegurando la participación ciudadana y que las decisiones de manejo se fundamenten en datos precisos y actualizados.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL

El cambio de uso de tierras y su impacto en la cobertura vegetal es significativo en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El cambio de uso de tierras y la cobertura vegetal muestran variaciones significativas en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.
- El impacto del cambio de uso de tierras sobre la cobertura vegetal es significativo en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Capachica es un distrito ubicado al sur del Perú, dentro del departamento de Puno, una región altiplánica reconocida por su cercanía al lago Titicaca, el cuerpo de agua navegable más alto del planeta. Pertenece a la provincia de Puno, la cual también da nombre a la ciudad capital regional.

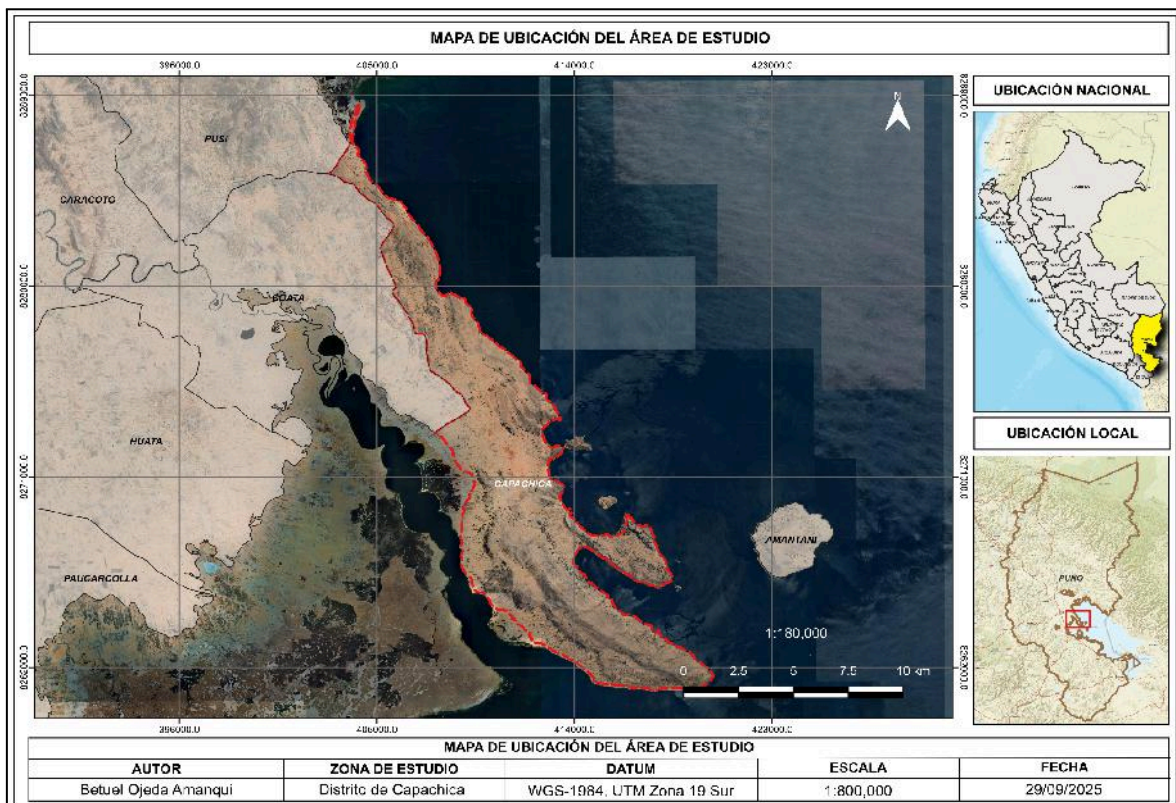


Figura 06: Mapa de ubicación del área de estudio.

Este distrito se encuentra a una altitud aproximada de 3,850 metros sobre el nivel del mar, lo que determina muchas de sus características climáticas y geográficas. Las coordenadas de Capachica son aproximadamente 15°39' de latitud sur y 69°30' de longitud oeste. Gracias a su localización, varias de sus comunidades están asentadas cerca del lago Titicaca, en áreas de península o a orillas del lago, disfrutando de vistas privilegiadas.

El clima en Capachica presenta características típicas de los Andes: días moderadamente cálidos con temperaturas entre los 12 °C y 18 °C, y noches frías que pueden registrar temperaturas bajo cero, especialmente entre junio y agosto. La época de lluvias va de noviembre a marzo, siendo enero y febrero los meses con mayor cantidad de precipitaciones, con registros mensuales que rondan entre 100 y 120 mm.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Para la población se seleccionaron 10 escenas de imágenes satelitales Sentinel-2 que abarcaron completamente el territorio del distrito de Capachica durante el periodo de estudio que es del 2015 - 2024, permitiendo clasificar los diferentes usos de suelo como vegetación, agua, cultivos, zona urbana y suelos eriazos.

3.2.2. MUESTRA

La muestra fue formada por los píxeles de cada escena, con una resolución de 15 x 15 metros, donde estos píxeles determinaron la vegetación y cada usos de suelo en el distrito de Capachica.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

Tipo de investigación

La presente investigación se enmarcó dentro del enfoque cuantitativo, no experimental y de nivel descriptivo-correlacional. Se considera cuantitativa porque se utilizaron datos

numéricos derivados del procesamiento de imágenes satelitales, lo cual permitió calcular los cambios en la cobertura vegetal en unidades de área (km²) y porcentaje. Asimismo, es descriptiva porque se identificaron y detallaron los diferentes tipos de uso del suelo presentes en el distrito, así como su evolución durante el periodo estudiado; y es explicativa debido a que buscó comprender cómo el cambio en el uso del territorio ha influido sobre la cobertura vegetal en Capachica.

Diseño de Investigación

Corresponde a un diseño no experimental, de tipo longitudinal y comparativo. Se clasifica como no experimental porque no se intervino directamente sobre las variables, sino que se analizaron los datos tal como se presentan en las imágenes obtenidas. Es longitudinal, ya que se abordó el comportamiento de las variables a lo largo del tiempo, considerando los años 2015 - 2024; y es comparativo porque se examinaron las diferencias entre ambos periodos para establecer patrones de cambio en el uso del suelo y la cobertura vegetal. Esta estrategia metodológica facilitó una mejor comprensión de los procesos ambientales y territoriales que han tenido lugar en el distrito.

3.3.2. MATERIALES

Equipos

- Cámara fotográfica
- Computadora portátil, impresora, scanner.

Softwares y plataformas

- QGis (v3.26.17).
- Google Earth Engine (GEE).

Método inductivo: Se refiere a la capacidad de razonamiento inductivo, que parte de indicios concretos y conduce a inferencias específicas. Para llegar a una generalización, se basa en la observación de hechos concretos (Andrade et al., 2018).

Técnica de observación: Es el proceso de examinar atentamente una cosa para asimilar plenamente la naturaleza del todo, incluido su conjunto de datos, hechos y fenómenos (Andrade et al., 2018).

Diseño metodológico por objetivos:

Metodología para el objetivo específico O1: Evaluar el cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

Definición del área de estudio

Se comenzó por delimitar el distrito de Capachica empleando datos cartográficos oficiales en formato shapefile, obtenidos de fuentes confiables como el Instituto Geográfico Nacional (IGN) o la plataforma del Ministerio del Ambiente (MINAM). Esta capa geográfica sirvió para recortar las imágenes satelitales y enfocar el análisis únicamente en el territorio del distrito.

Obtención de imágenes satelitales

Se seleccionaron y descargaron imágenes satelitales Sentinel-2 para los años 2015 y 2024, accediendo a la plataforma Google Earth Engine (GEE). Donde se prefirió a imágenes capturadas durante la temporada seca (entre mayo y agosto) para minimizar la interferencia de nubes y asegurar una mejor calidad de los datos.

Clasificación de la cobertura y uso de suelo

Se aplicó una clasificación supervisada empleando el modelo Random Forest (RF) en la plataforma Google Earth Engine (GEE) utilizando el lenguaje de programación JavaScript para identificar las distintas categorías de uso del suelo, incluyendo suelos eriazos, áreas urbanas, cultivos, vegetación natural y cuerpos de agua. Para ello, se seleccionaron muestras representativas de cada categoría, las cuales fueron verificadas mediante imágenes de mayor resolución o datos obtenidos en campo, garantizando así la exactitud y fiabilidad del análisis.

Cálculo del NDVI

Utilizando las bandas roja e infrarroja cercana de Sentinel-2, se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para los años 2015 y 2024. Este índice facilitó la evaluación del vigor y extensión de la vegetación en la zona de estudio.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Donde:

NIR = Banda infrarroja cercana

Red = Banda roja

Comparación temporal de resultados

Se realizó un análisis comparativo entre los datos de 2015 y 2024 para identificar variaciones en la cobertura vegetal y en el uso del suelo, expresadas en kilómetros cuadrados y porcentajes. Esto permitió detectar cambios relevantes como crecimiento urbano, disminución de áreas verdes o aumento de terrenos agrícolas.

Elaboración de mapas y presentación de resultados

Para visualizar los cambios, se generaron mapas temáticos en el software Qgis que muestran la distribución espacial de las diferentes clases de cobertura en distintos años. Además, se generaron tablas y gráficos que facilitaron la interpretación y comunicación clara de los resultados obtenidos.

Metodología para el objetivo específico O2: Determinar el impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

Obtención de datos sobre cobertura vegetal y uso del suelo

Se emplearon las imágenes satelitales previamente del objetivo específico uno que están clasificadas correspondientes a los años 2015 - 2024, considerando las categorías definidas de uso de suelo: suelos eriazos, zonas urbanas, cultivos, vegetación y cuerpos de agua. Estos datos sirvieron como base para analizar las variaciones en la cobertura

vegetal asociadas a los cambios en el uso de la tierra.

Cálculo y evaluación del NDVI

Se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para ambos años, utilizando las bandas roja e infrarroja cercana de las imágenes Sentinel-2. Este índice facilitó la evaluación de la salud y densidad de la vegetación, permitiendo identificar zonas con aumento o disminución de cobertura vegetal entre 2015 y 2024.

Análisis espacial mediante superposición

Se realizó la superposición de las capas de uso del suelo de ambos años con los mapas de NDVI correspondientes, con el fin de detectar áreas donde los cambios en el uso de tierra hayan generado un impacto significativo en la vegetación. Este análisis espacial permite identificar zonas afectadas por procesos como la expansión urbana o la conversión a cultivos.

Medición cuantitativa del impacto

Se cuantificó el efecto del cambio de uso de suelo sobre la cobertura vegetal, calculando las variaciones en extensión (km²) y porcentaje (%) para cada categoría de uso y nivel de NDVI. Esto permitió determinar con exactitud la magnitud de la pérdida o ganancia de vegetación vinculada a las modificaciones territoriales.

Visualización y presentación de resultados

Los hallazgos se presentaron a través de mapas temáticos, tablas y gráficos que reflejan claramente las zonas afectadas y la intensidad del impacto en la cobertura vegetal, facilitando así la interpretación y análisis de las tendencias ocurridas durante el período estudiado.

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Causa o variable independiente (VI): Cambio de uso de tierra.

Efecto o variable dependiente (VD): Impacto en la cobertura vegetal.

Tabla 01: Operacionalidad de variables.

Variables	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables
	Clases:		
	- Suelos eriazos		
VI	- Zona Urbana	km ²	Independiente
Cambio de uso de tierra	- Cultivos	%	
	- Vegetación		
	- Agua		
	Clases:		
VD	Índice de vegetación	km ²	Dependiente
Impacto en la cobertura	de diferencia	%	
vegetal	normalizado (NDVI)		

3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

En el análisis estadístico se utilizó la regresión lineal simple con el propósito de examinar la relación entre la cobertura vegetal (variable dependiente) y los distintos tipos de cambio de uso de suelo (considerados de manera individual como variables independientes). Este enfoque permitió determinar en qué medida cada categoría de uso de tierra incide en la variación de la vegetación durante el periodo 2015-2024. La expresión matemática aplicada fue:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde:

Y = corresponde a la cobertura vegetal

β_0 = representa la constante o intercepto

β_1 = es el coeficiente de regresión que refleja la influencia del cambio de uso de suelo (X) sobre la vegetación.

ε = simboliza el error aleatorio.

Este procedimiento facilitó estimar de manera cuantitativa el impacto de cada factor y evidenciar su relación con la reducción de la cobertura vegetal en el distrito de Capachica.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE TIERRA Y LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2015-2024.

Entre los años 2015 y 2024, el distrito de Capachica, en la región Puno, ha mostrado variaciones notables en el uso del suelo y la cobertura vegetal. La vegetación natural ha disminuido progresivamente, en gran medida por la expansión de terrenos agrícolas, lo que refleja una creciente presión sobre los ecosistemas para actividades de cultivo. Las áreas agrícolas se han ampliado, ocupando espacios que anteriormente eran suelos eriazos o zonas con vegetación. A su vez, se registra un ligero aumento de la zona urbana, evidenciando un proceso de urbanización en desarrollo. La superficie cubierta por cuerpos de agua ha sufrido cambios leves, aunque con una tendencia a la reducción, posiblemente relacionada con factores climáticos o un mayor uso para riego. En cuanto a los suelos eriazos, estos han disminuido al ser reemplazados por usos agrícolas o urbanos, lo que muestra una transformación del entorno rural impulsada por necesidades socioeconómicas y el aprovechamiento del suelo disponible.

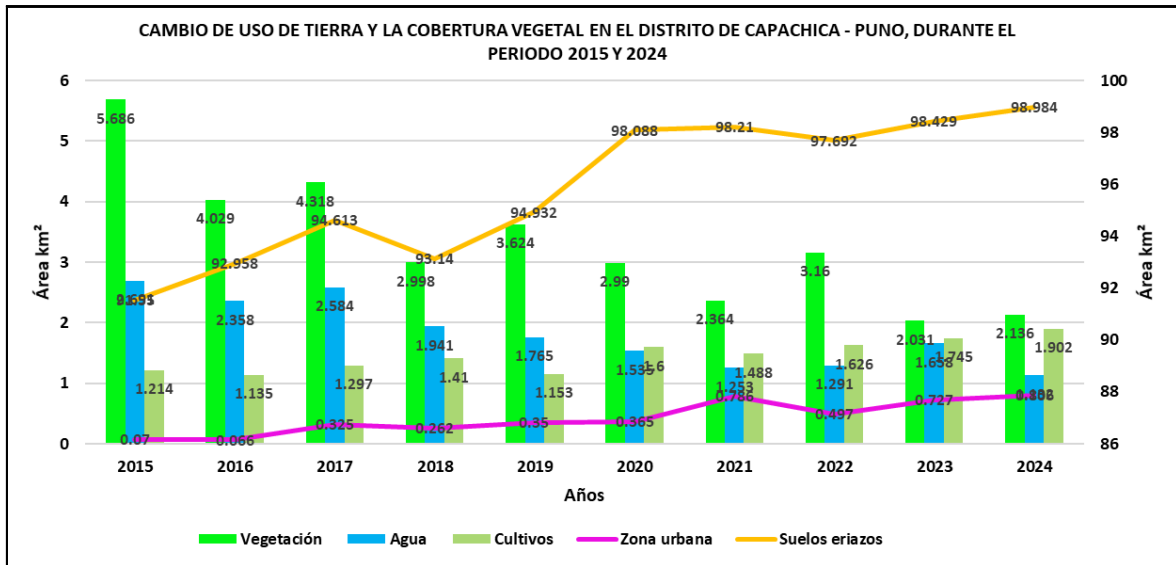


Figura 07: Cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.

En la figura 07, se muestra un gráfico combinado de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024, donde se ha experimentado variaciones notables en cuanto al uso del suelo y la cobertura vegetal, según los registros en kilómetros cuadrados. La superficie cubierta por vegetación se ha reducido de forma considerable, pasando de 5.686 km² en 2015 a 2.136 km² en 2024, lo que representa una pérdida superior al 60 %, probablemente relacionada con la expansión agrícola y el crecimiento urbano. A la par, las áreas agrícolas han mostrado una tendencia creciente, incrementándose de 1.214 km² a 1.902 km², lo que refleja un uso más intensivo del terreno para actividades productivas. Las zonas urbanas también han registrado un aumento progresivo, desde 0.07 km² hasta alcanzar los 0.806 km², evidenciando un proceso de urbanización constante. En cuanto a los cuerpos de agua, se observa una reducción de 2.691 km² a 1.132 km², posiblemente vinculada a la disminución de precipitaciones o al uso intensivo del recurso hídrico. Por último, los suelos eriazos pasaron de 91.55 km² a 98.984 km², lo que indica un deterioro del terreno o la pérdida de cobertura vegetal. En resumen, estos cambios muestran una

transformación significativa del territorio, impulsada por factores agrícolas, urbanos y ambientales. Por otro lado concuerda con (Salvador et al., 2020), en la zona oriental de la Zona Metropolitana de Toluca, México. Los hallazgos mostraron un crecimiento en la población de 308,262 personas entre 1980 y 2015, en relación con el uso del suelo, aunque la actividad agrícola continuó siendo predominante, experimentó una reducción del 35.74 %, mientras que las áreas urbanizadas o artificiales aumentaron en un 235.84 %. De igual manera, los cuerpos de agua disminuyeron en un 31.77 %, y la cobertura forestal presentó un ligero aumento del 4.9 %.

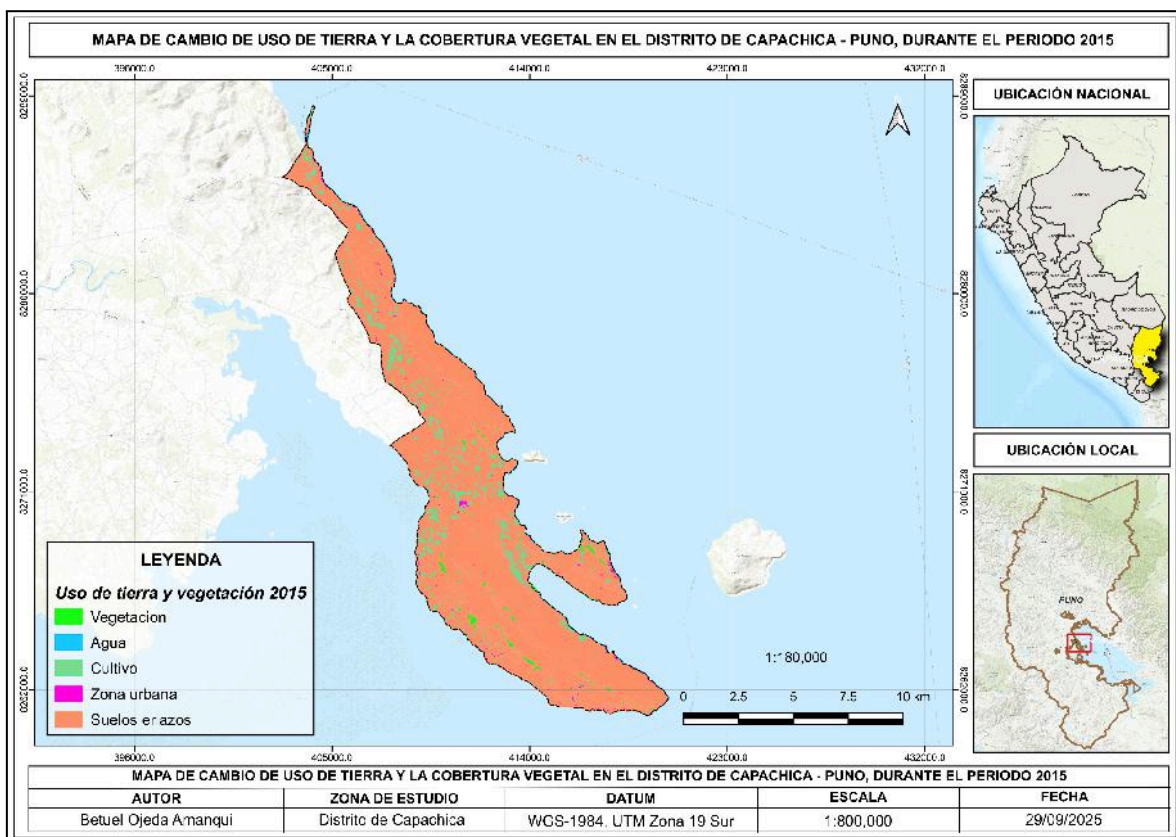


Figura 08: Mapa de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015.

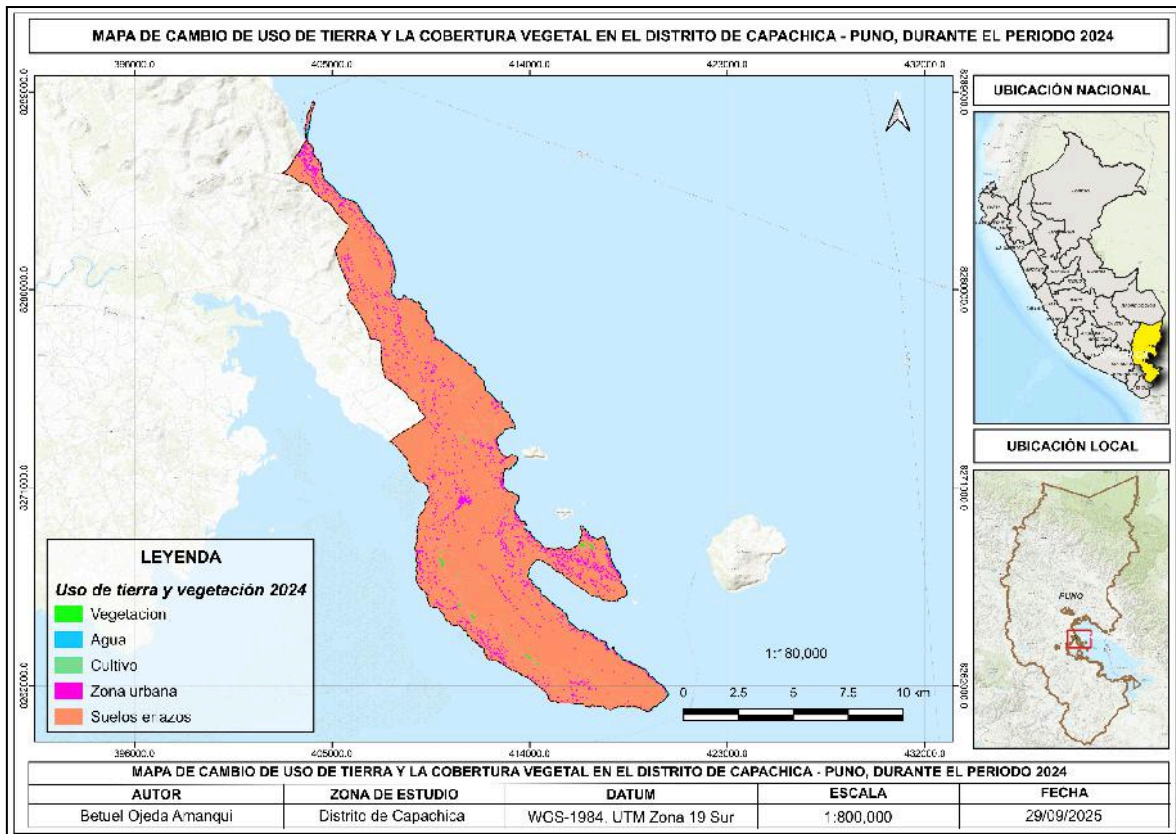


Figura 09: Mapa de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2024.

En la figura 08 y 09, se muestran los mapas de cambios de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno entre los años 2015 y 2024, donde ha atravesado cambios notorios en la distribución porcentual del uso del suelo y la cobertura vegetal. La superficie con vegetación natural experimentó una caída considerable del 62.45 %, lo que pone en evidencia una pérdida importante de áreas verdes. Por otro lado, el área destinada a cultivos creció en un 56.65 %, lo cual sugiere una intensificación de las actividades agrícolas. En cuanto al área urbana, esta se expandió de forma acelerada, creciendo en más del 70 %, reflejando un proceso de urbanización marcado, la superficie ocupada por cuerpos de agua disminuyó en un 57.92 %, lo que podría atribuirse a variaciones climáticas o al uso intensivo del recurso hídrico. Finalmente, los suelos eriazos aumentaron un 8.12 %, lo que podría estar relacionado con el deterioro o abandono de tierras previamente aprovechadas. En conjunto, estas variaciones

evidencian una transformación significativa del entorno territorial, influida principalmente por la expansión agrícola, el crecimiento urbano y la presión sobre los ecosistemas locales, concordando con (Gómez, 2020), en la ciudad de Curuzú Cuatiá, Argentina, quien indica que las áreas con alta probabilidad de transición a expansión es la categoría de Área Urbana, alcanzando un porcentaje superior al 72% en su expansión.

Tabla 02: Estadística sobre cambios de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024.

Clase (Area km ²)	Media	Mediana	Desviación estándar	Coeficiente		
				de asimetría	Mínimo	Máximo
Vegetación	3.33	3.07	1.12	0.91	2.03	5.68
Agua	1.82	1.71	0.56	0.45	1.13	2.69
Cultivos	1.45	1.44	0.26	0.30	1.13	1.90
Zona urbana	0.42	0.35	0.27	0.22	0.06	0.80
Suelos eriazos	95.85	96.31	2.72	-0.33	91.55	98.98

Nivel de confianza (95.0%)

En la tabla 02, se muestra la estadística descriptiva sobre los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal en Capachica durante 2015-2024, con un nivel de confianza del 95 %, muestra patrones definidos en las diferentes categorías. La vegetación presenta un promedio de 3.33 km² y una mediana cercana de 3.07 km², con una desviación estándar

de 1.12 km² y una leve asimetría positiva (0.91), indicando que en ciertos años se superaron los valores promedio. En cuanto al agua, la media es de 1.82 km² y la mediana de 1.71 km², con moderada variabilidad (desviación estándar de 0.56 km²) y una pequeña asimetría positiva, lo que podría reflejar una reducción gradual. Los cultivos registran un promedio de 1.45 km², con una mediana muy similar (1.44 km²) y baja dispersión (0.26 km²), además de una asimetría moderada que sugiere un crecimiento constante. La zona urbana muestra un crecimiento más variable, con una media de 0.42 km² y una desviación estándar alta (0.27 km²), reflejando una expansión significativa pero irregular, respaldada por una asimetría positiva (0.22). Por último, los suelos eriazos predominan en el territorio con un promedio de 95.85 km², una desviación estándar de 2.72 km² y una asimetría negativa (-0.33), lo que indica una ligera concentración en valores altos y una tendencia a mantenerse estables, con pequeños aumentos hacia el final del periodo. En conjunto, estos datos estadísticos permiten entender mejor las dinámicas de cambio y estabilidad en el uso del suelo en el distrito.

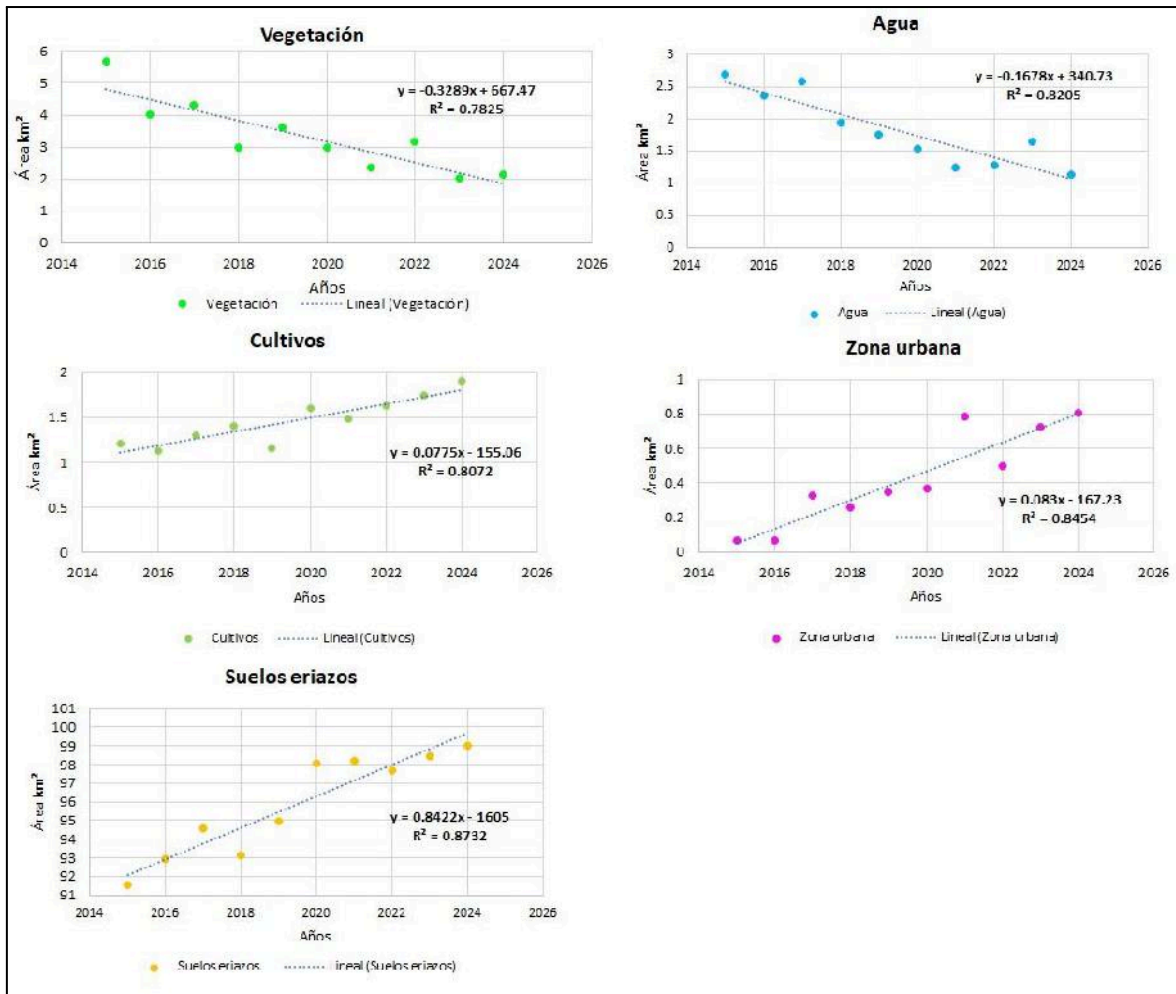


Figura 10: Regresión lineal de cambios de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024.

En la figura 10, se muestra la regresión lineal de cambios de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024, donde la cobertura de vegetación muestra una disminución sostenida, con un R^2 de 0.78, lo que indica que el tiempo explica cerca del 78 % de las variaciones observadas. De manera similar, el área ocupada por cuerpos de agua también ha ido en descenso, respaldado por un R^2 de 0.82, lo que señala una relación fuerte entre el tiempo y la reducción del 82 % registrada. En contraste, las tierras destinadas al cultivo presentan un crecimiento progresivo, con un R^2 de 0.80, lo que representa un aumento del 80 % en su extensión. Las zonas urbanas reflejan una expansión significativa, con un coeficiente R^2 de 0.84, asociado a un crecimiento superior

al 84 % respecto a su área inicial. Por último, los suelos eriazos presentan el mayor nivel de ajuste lineal, con un R^2 de 0.87, acompañado de un incremento aproximado del 87 % en su cobertura. En conjunto, estos resultados reflejan una evolución territorial marcada por la pérdida de recursos naturales y el avance de actividades humanas, en especial la agricultura y la urbanización, en estrecha relación con el paso del tiempo.

Tabla 03: Matriz de confusión y validación global de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024.

	Vegetación	Agua	Cultivos	Zona urbana	Suelos eriazos
Vegetación	62	0	0	0	15
Agua	0	39	0	0	0
Cultivos	0	0	14	0	11
Zona urbana	0	0	0	305	103
Suelos eriazos	8	0	3	55	912

En la tabla 03, se muestra la matriz de confusión y validación global de cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal durante el 2015 y 2024, donde refleja un buen desempeño global en la clasificación, destacando las categorías de zona urbana y suelos eriazos por sus altos valores en la diagonal principal (305 y 912). La vegetación también muestra resultados favorables con 62 aciertos, aunque presenta cierta confusión con suelos eriazos (15 casos). En el caso de los cultivos, se identifican 14 clasificaciones correctas, pero con errores moderados hacia suelos eriazos (11 casos). El agua es la categoría con mayor precisión, logrando 39 aciertos sin confusiones. En general, los errores se

concentran en la diferenciación de suelos eriazos frente a otras clases, lo que evidencia que esta categoría es la de mayor complejidad en el proceso de clasificación.

Tabla 04: Validación mediante kappa y accuracy.

Año	Kappa	Accuracy
2015	0.831	0.932
2016	0.757	0.908
2017	0.858	0.929
2018	0.82	0.938
2019	0.723	0.884
2020	0.79	0.884
2021	0.738	0.854
2022	0.68	0.84
2023	0.671	0.838
2024	0.682	0.839
Promedio	0.755	0.8846

En la tabla 04, se muestra la validación mediante kappa y accuracy, donde el promedio del índice Kappa fue de **0.755** y la Accuracy de **0.8846**, lo que refleja una buena concordancia y precisión en las clasificaciones a lo largo del periodo analizado. Los años 2017 y 2018 destacan por presentar los mejores resultados, con Kappa superiores a 0.82 y accuracies cercanas a 0.93, lo que indica un alto nivel de consistencia. A partir de 2022

se observa una leve caída en los valores, alcanzando su punto más bajo en 2023 (Kappa 0.671 y Accuracy 0.838), lo que sugiere mayores desafíos en la clasificación en esos años. No obstante, el desempeño general se mantiene dentro de un rango adecuado, lo que confirma la confiabilidad del análisis realizado.

4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO DE USO DE TIERRA SOBRE LA COBERTURA VEGETAL EN EL DISTRITO DE CAPACHICA - PUNO, DURANTE EL PERIODO 2015 Y 2024

Entre los años 2015 y 2024, el distrito de Capachica, ubicado en la región Puno, ha mostrado una transformación significativa en el uso del suelo, afectando directamente la cobertura vegetal. El aumento de las superficies destinadas a la agricultura y el crecimiento de las zonas urbanas han sido factores determinantes en la reducción progresiva de la vegetación natural. La constante ampliación de terrenos cultivables, junto con la expansión urbana, ha provocado una sustitución paulatina de áreas verdes, modificando el entorno rural y alterando la dinámica ecológica del lugar.

Tabla 05: Relación del impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal.

	Año	Vegetación	Agua	Cultivos	Zona urbana	Suelos eriazos
Año	1					
Vegetación	-0.88457	1				
Agua	-0.90583	0.861116	1			
Cultivos	0.898457	-0.77186	-0.7559	1		
Zona urbana	0.919458	-0.845641	-0.8196	0.808672	1	
Suelos eriazos	0.934463	-0.838939	-0.8746	0.845389	0.89702	1

Nivel de confianza(95.0%)

En la tabla 05, se muestra la relación del impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal, donde los datos de correlación evidencian que la cobertura vegetal disminuye de forma marcada con el paso del tiempo (-0.88), lo que confirma una tendencia de reducción a lo largo de los años. Asimismo, se observa una relación negativa importante con la expansión de zonas urbanas (-0.84) y suelos eriazos (-0.83), indicando que el crecimiento urbano y el aumento de áreas sin uso están estrechamente ligados a la pérdida de vegetación. También, la correlación positiva con la presencia de agua (0.86) sugiere que la disponibilidad hídrica favorece la conservación de la cobertura vegetal. En conjunto, los resultados muestran que el cambio de uso del suelo, especialmente por urbanización y degradación, es el principal motor de la disminución de vegetación en el área analizada. Por otro lado concuerda con (Martínez et al., 2021), en

la cuenca del río Conchos, Chihuahua, México. El objetivo fue analizar la variación en la cobertura del suelo y su vínculo con los procesos de erosión hídrica. Los hallazgos reflejaron una disminución en la superficie de bosque y áreas de pastizal, en contraste con una expansión de zonas agrícolas y matorrales. En cuanto a la erosión, se observaron variaciones en la pérdida de suelo, con valores máximos de 0.02 y 0.008 toneladas por hectárea en los años 1980 y 2000, respectivamente, elevándose a 0.01 toneladas por hectárea en 2018. En relación con el escurrimiento superficial, este presentó un volumen inicial de 348.38 millones de metros cúbicos en 1980, reduciéndose a 137.36 millones en 2000, para luego incrementarse de forma considerable en 2018, alcanzando los 743.08 millones de metros cúbicos.

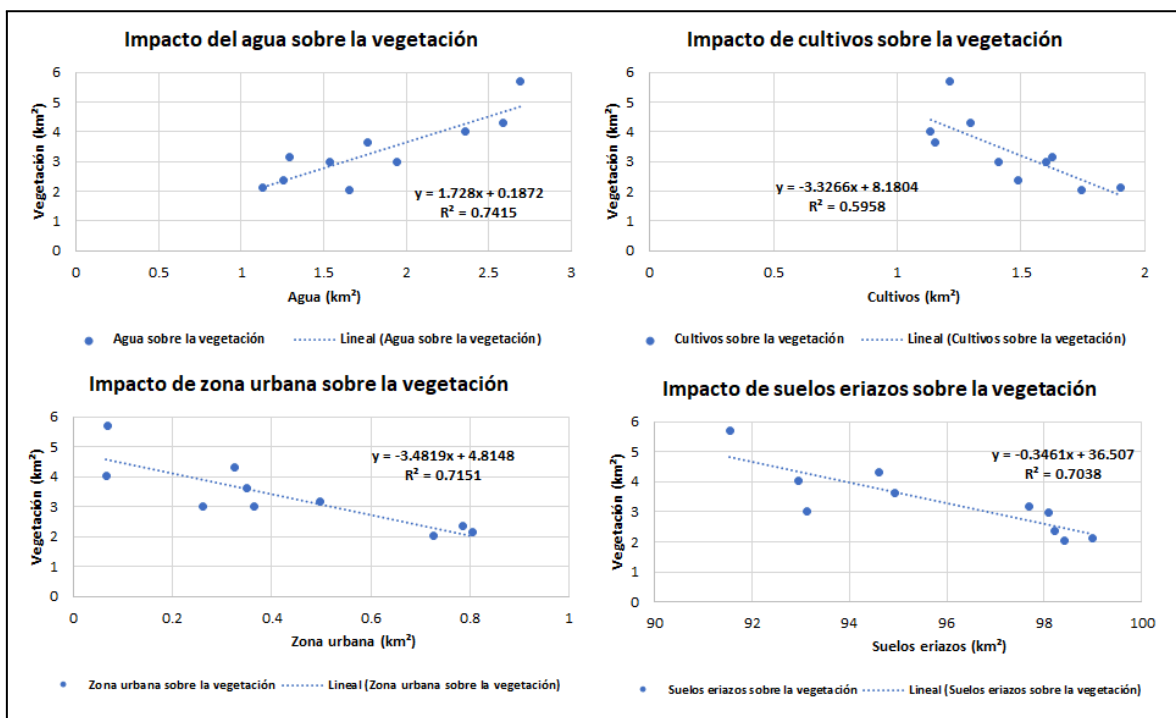


Figura 11: Relación del impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal.

En la figura 11, se evidencia la relación entre los distintos usos de suelo y su efecto sobre la cobertura vegetal, mostrando qué cambios inciden de forma positiva y negativa. La superficie de agua mantiene una correlación positiva relevante ($R^2 = 0.7415$), lo que indica que su incremento favorece la presencia de vegetación. En contraste, los cultivos

($R^2 = 0.5958$), las zonas urbanas ($R^2 = 0.7151$) y los suelos eriazos ($R^2 = 0.7038$) presentan correlaciones negativas, señalando que su expansión está asociada con una reducción de la cobertura vegetal. Destacan las zonas urbanas y los suelos eriazos, que explican más del 70 % de la variabilidad observada, evidenciando su gran impacto. En conjunto, los resultados confirman que los cambios de uso de suelo, sobre todo por urbanización y actividades agrícolas, disminuyen de manera notable la vegetación natural, mientras que la presencia de cuerpos de agua contribuye a su conservación. También concuerda con (Amaya et al., 2024), en la cuenca binacional del río Zarumilla en Perú y Ecuador. Los resultados del análisis revelaron una pérdida neta de 11,378 hectáreas de cobertura boscosa durante el periodo evaluado, siendo el 87.7 % de esta deforestación registrada en el lado ecuatoriano de la cuenca. De mantenerse la misma dinámica, se prevé una pérdida adicional de aproximadamente 10,552 hectáreas de bosque para el año 2040, especialmente en áreas de baja altitud cercanas a ríos y carreteras. Esta tendencia de pérdida forestal resulta alarmante y subraya la necesidad urgente de aplicar políticas de desarrollo sostenible y medidas de ordenamiento territorial por parte de ambos países.

4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Comprobación de la Primera Hipótesis Específica

Hipótesis nula (H_0): No existen variaciones significativas en el cambio de uso de tierras ni en la cobertura vegetal en el distrito de Capachica – Puno, durante el periodo 2015-2024.

Hipótesis alternativa (H_1): Existen variaciones significativas en el cambio de uso de tierras y en la cobertura vegetal en el distrito de Capachica – Puno, durante el periodo 2015-2024.

Resultado:

Los resultados obtenidos reflejan variaciones claras en los usos del suelo, con una reducción evidente de la vegetación a medida que aumentan las áreas urbanizadas, los suelos sin cobertura y las zonas agrícolas. Dado el alto grado de correlación y los valores significativos de R^2 , se descarta la hipótesis nula, lo que permite afirmar que existe una relación significativa entre las modificaciones en el uso del suelo y los cambios en la cobertura vegetal dentro del distrito analizado durante el periodo en cuestión.

Comprobación de la Segunda Hipótesis Específica

Hipótesis nula (H_0): El cambio de uso de tierras no tiene un impacto significativo sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica – Puno, entre 2015 y 2024.

Hipótesis alternativa (H_1): El cambio de uso de tierras tiene un impacto significativo sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica – Puno, entre 2015 y 2024.

Resultado:

Las relaciones negativas entre la vegetación y las zonas urbanas (-0.84) y suelos eriazos (-0.83), junto con los valores de R^2 mayores a 0.70, evidencian que estas variables explican gran parte de la reducción de cobertura vegetal. En consecuencia, se descarta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa, estableciendo que el cambio de uso de suelo ha influido de manera significativa en la disminución de vegetación durante el periodo analizado.

CONCLUSIONES

PRIMERA: El cambio de uso de suelo en el distrito de Capachica – Puno, entre 2015 y 2024, revela modificaciones importantes en el territorio. Se observa un aumento de las áreas urbanas y de suelos eriazos, mientras que la cobertura vegetal muestra una disminución progresiva en el tiempo. Esto demuestra que la dinámica del uso de suelo está influenciada por procesos del crecimiento urbano y degradación de bosques así como la cobertura vegetal que impactan directamente en los ecosistemas de la zona.

SEGUNDA: La evaluación conjunta de ambos factores evidencia una relación inversa entre el crecimiento de las áreas urbanas y eriazos y la cantidad de vegetación. Las correlaciones negativas y los valores de $R^2 > 0.70$ señalan que la pérdida de cobertura vegetal está principalmente explicada por el incremento de estos usos de suelo, lo que confirma que la intervención humana ha sido determinante en la transformación del paisaje natural.

TERCERA: El impacto del cambio de uso de suelo sobre la cobertura vegetal es estadísticamente significativo con una correlación negativa del $R^2 > 0.80$, lo que indica la disminución de la vegetación está estrechamente vinculada con la expansión urbana, el aumento de suelos degradados y con el crecimiento de cultivos. Estos hallazgos subrayan la importancia de implementar planes de ordenamiento territorial que favorezcan la preservación de la vegetación en el distrito de Capachica.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se propone que el Gobierno Regional de Puno refuerce las políticas orientadas a la zonificación ecológica económica (ZEE), en la protección de la cobertura vegetal en Capachica, impulsando programas de reforestación y restauración de suelos degradados. Asimismo, se recomienda implementar campañas de educación ambiental dirigidas a la población, fomentando el uso responsable del territorio y controlando el crecimiento desordenado de las áreas urbanas. Estas medidas contribuirían a frenar la pérdida de vegetación y a mantener los beneficios ecosistémicos que brinda.

SEGUNDA: Para el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), se sugiere promover investigaciones permanentes sobre el estado de los ecosistemas de montaña y los efectos del cambio climático en la vegetación del distrito. Es necesario un monitoreo constante de la cobertura vegetal y de los recursos hídricos para anticipar posibles escenarios de deterioro y facilitar la toma de decisiones estratégicas. Igualmente, se recomienda difundir la información generada de forma accesible para que las comunidades locales participen activamente en la protección de su entorno.

TERCERA: Por último, al distrito de Capachica se le recomienda diseñar planes de ordenamiento territorial que prioricen la sostenibilidad ambiental y regulen la expansión urbana del distrito. Además, se deben asignar recursos para proyectos de restauración ecológica en las zonas más afectadas por la pérdida de vegetación. Una articulación efectiva entre el gobierno regional, las municipalidades y las entidades ambientales

permitirá una gestión adecuada del territorio y la conservación de la cobertura vegetal en el largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Achiquen, J., Santoyo, V., & Martínez, E. (2021, 12 04). *El Ecosistema Emprendedor en las Principales Instituciones de Enseñanza e Investigación Agrícola de México*. SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-27242021000300021&script=sci_arttext&tlng=pt
- Aguirre, F., Squeo, F., & López, D. (2021, 01 16). *Gradientes Climáticos y su alta influencia en los ecosistemas terrestres de la Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos, Chile*. SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-686X2021000100208&script=sci_arttext
- Amaya, P., Girón, B., & Maza, J. (2024, 07 02). *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en la cuenca del río Zarumilla: Proyecciones al 2040*. SciELO Ecuador. Retrieved June 20, 2025, from http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-26542024000200073&script=sci_arttext
- Anzoategui, L., Gil-Leguizamón, P., & Marin, R. (2023, 04 02). *Frontera agrícola y multitemporalidad de cobertura vegetal en Páramo del Parque Regional Natural Cortadera (Boyacá, Colombia)*. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002023000100159&script=sci_arttext&tlng=pt
- Arias, G., Vanegas, D., & García, A. (2022, 12 12). *Efecto de la cobertura vegetal en escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeinae) y sus funciones ecológicas en un bosque andino de Colombia*. SciELO. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442022000100053

- Bringas, J. (2024, 12 12). *Identificación de zonas de recarga hídrica y su relación con el cambio de uso del suelo en la cuenca del Río Rejo*. Universidad Nacional de Cajamarca. Retrieved June 20, 2025, from <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7853>
- Bustincio, Y., Juli, R., & Canqui, A. (2024, December 22). *Análisis de imágenes Landsat para cambios de uso del suelo en Vilacota Maure*. Ciencia y Educación. Retrieved June 20, 2025, from <https://cienciayeducacion.com/index.php/journal/article/view/546>
- Cervantes, R., Sánchez, J., & Alegre, J. (2021, 12 30). *Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica*. SciELO. Retrieved June 20, 2025, from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162021000200137&script=sci_arttext&tlng=en
- Encinas, F., Truffello, R., & Aguirre, C. (2019, 08 20). *Especulación, renta de suelo y ciudad neoliberal. O por qué con el libre mercado no basta*. SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-69962019000200120&script=sci_arttext&tlng=pt
- Gómez, L. (2020, 12 02). *Simulación de escenarios futuros de cambios de usos del suelo usando Redes Neuronales Artificiales. Aplicación en la ciudad de Curuzú Cuatiá, Corrientes, Argentina*. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1853-43922020000200054&script=sci_arttext
- Hernández, E., García, J., Vázquez, G., & Cantellano, E. (2022, 09 05). *Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989 - 2015)*. SciELO México. Retrieved June 20, 2025, from

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712022000100106&script=sci_arttext

Laborde, J., Guevara, S., & Mokondoko, P. (2020, 12 22). *Dinámica de los cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (2006-2016)*. SciELO México. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532020000100204&script=sci_arttext

Loza, A., & Taype, I. (2021, 12 22). *Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú*. SciELO. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-34702021000200027&script=sci_arttext

Martínez, A., Villanueva, J., Estrada, J., Vázquez, C., & Orona, I. (2021, 02 17). *Pérdida de suelo y modificación de escurrimientos causados por el cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Conchos, Chihuahua*. SciELO México. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052020000200101&script=sci_arttext

Mejía, V. (2020, 05 20). *Morfología urbana y proceso de urbanización en Ecuador a través de la imagen satelital nocturna de la Tierra, 1992-2012*. SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612020000200191&script=sci_arttext&tlng=pt

Monsalve, E., Arriagada, R., & Bahamonde, N. (2021, 06 16). *Caracterización ecológica de una turbera ombrogénica en Magallanes: hacia una propuesta de bioindicadores de monitoreo ambiental*. SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025,

from

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-66432021000100038&script=sci_arttext&tlng=en

Olivares, B., & López, M. (2019, 06 02). *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela*. SciELO.

Retrieved June 20, 2025, from

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662019000200112

Peña, G. (2021, 11 02). *Clasificación espacial del suelo urbano por el valor especulativo del suelo e imágenes msi satelitales usando k-means, Huancayo, Perú*. SciELO

Chile. Retrieved June 20, 2025, from

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-36072021000200070&script=sci_arttext

Reyes, S., & Barrera, F. (2019, 08 19). *Monitoreo de los avances en desarrollo urbano: análisis de los catastros de áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de*

Santiago, Chile. SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025, from

https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-83582019000200129&script=sci_arttext

Salvador Adame, M., Sánchez Nájera, R., & Hoyos Castillo, G. (2020, 06 20). *Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México. Caso oriente*

de la Zona Metropolitana de Toluca, México.

https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652020000100007&script=sci_arttext

Walteros, I., Palacios, S., & Cely, G. (2022, 08 03). *Influencia del cambio de uso del suelo sobre las reservas de carbono orgánico en el Parque Natural Regional Cortadera,*

Boyacá (Colombia). SciELO Colombia. Retrieved June 20, 2025, from

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262022000200023&script=sci_arttext

Zapana, L., March, H., & Sauri, D. (2021, 10 08). *Las desigualdades en el acceso al agua en ciudades latinoamericanas de rápido crecimiento: El caso de Arequipa, Perú.*

SciELO Chile. Retrieved June 20, 2025, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022021000300369&script=sci_arttext&tlng=pt

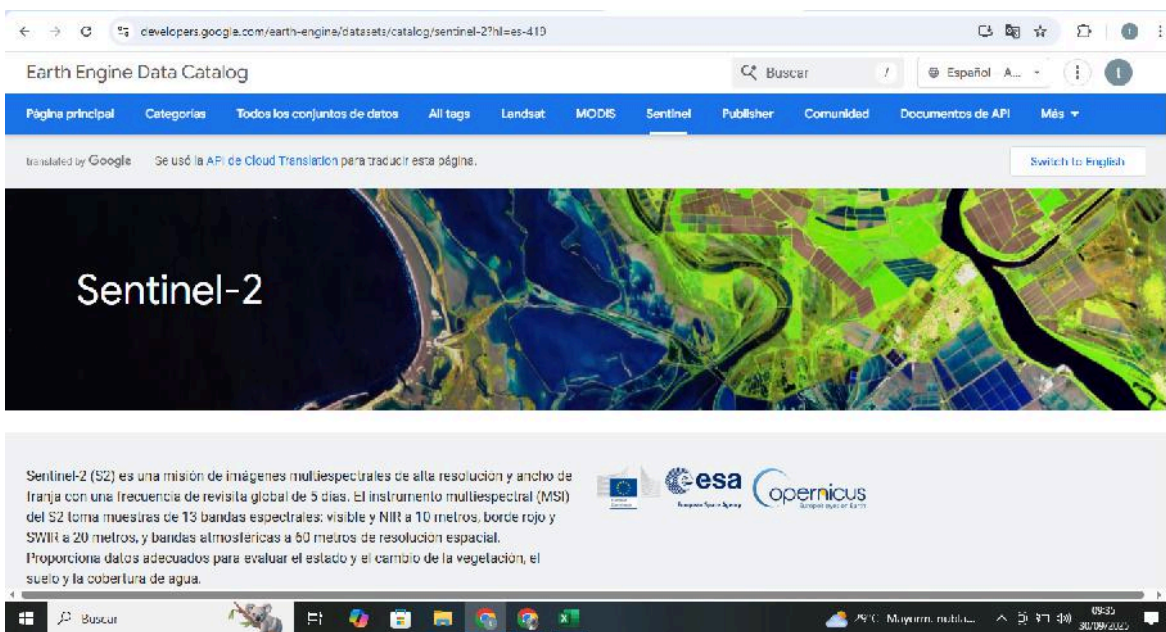
ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia.

“Cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024 ”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS METODOLÓGICA
<p>GENERAL ¿Cómo es el cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024?</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuánto es el cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024? • ¿Cómo es el impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024? 	<p>GENERAL Analizar el cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.</p> <p>ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024. • Determinar el impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024. 	<p>GENERAL El cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal es significativo en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024.</p> <p>ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cambio de uso de tierra y la cobertura vegetal muestran variaciones significativas en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024. • El impacto del cambio de uso de tierra sobre la cobertura vegetal es significativo en el distrito de Capachica - Puno, durante el periodo 2015 - 2024. 	<p>Variable Independiente: Cambio de uso de tierra</p> <p>Variable Dependiente: Impacto en la cobertura vegetal</p>	<p>Clases:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vegetación - Agua - Cultivos - Zona Urbana - Suelos eriazos <p>Área: km² %</p> <p>Expansión Urbana Conversión a cultivos</p> <p>Clases: Índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI). Área: km² %</p>	<p>Softwares Software QGis (v3.26.17)</p> <p>Plataforma Google Earth Engine (EEG)</p>	<p>Información de las imágenes satelitales Sentinel-2.</p> <p>Tipo de Investigación - Descriptivo y correlacional. - Aplicada de enfoque cuantitativo. Diseño de Investigación - No Experimental Método - Deductivo - Inductivo.</p>

Anexo 02: Obtención de las imágenes satelitales Sentinel-2.



Earth Engine Data Catalog

Buscar

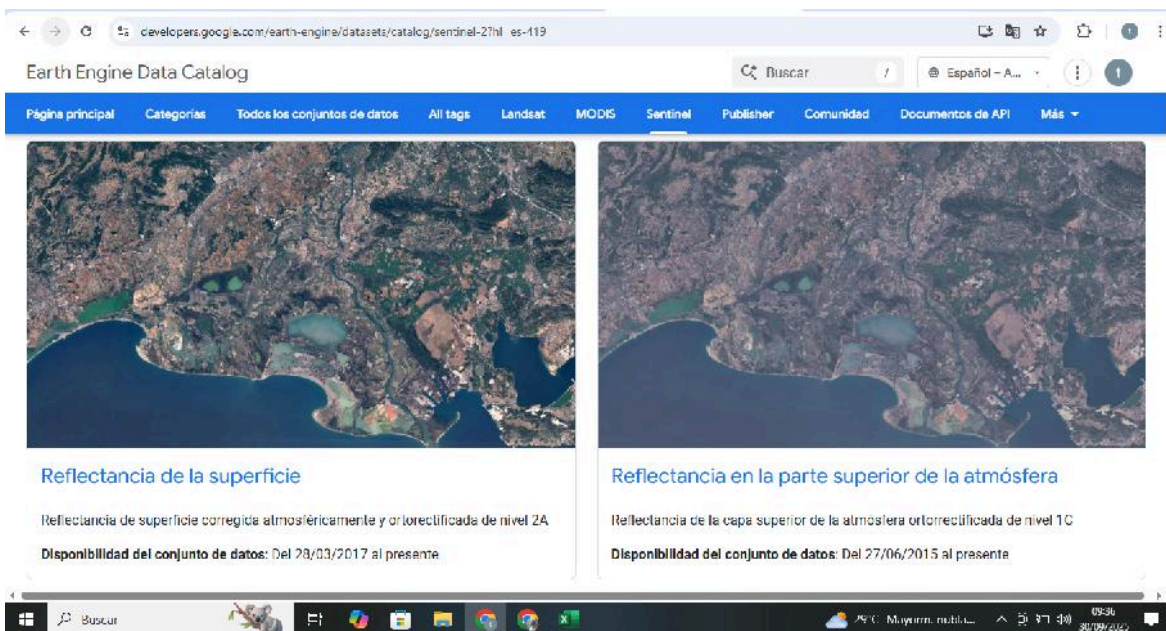
Página principal Categorías Todos los conjuntos de datos All tags Landsat MODIS Sentinel Publisher Comunidad Documentos de API Más

translated by Google Se usó la API de Cloud Translation para traducir esta página. [Switch to English](#)

Sentinel-2

Sentinel-2 (S2) es una misión de imágenes multiespectrales de alta resolución y ancho de franja con una frecuencia de revisita global de 5 días. El instrumento multiespectral (MSI) del S2 toma muestras de 13 bandas espectrales: visible y NIR a 10 metros, borde rojo y SWIR a 20 metros, y bandas atmosféricas a 60 metros de resolución espacial. Proporciona datos adecuados para evaluar el estado y el cambio de la vegetación, el suelo y la cobertura de agua.


Logos: ESA, Copernicus



Earth Engine Data Catalog

Buscar


Página principal Categorías Todos los conjuntos de datos All tags Landsat MODIS Sentinel Publisher Comunidad Documentos de API Más



Reflectancia de la superficie

Reflectancia de superficie corregida atmosféricamente y ortorectificada de nivel 2A

Disponibilidad del conjunto de datos: Del 28/03/2017 al presente

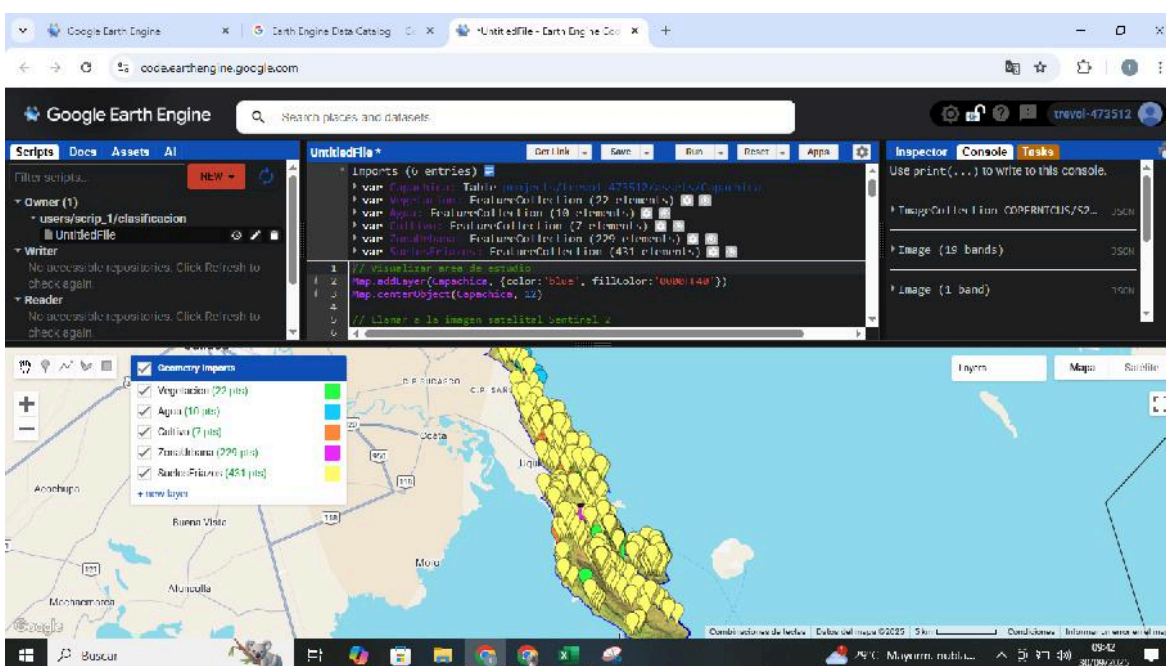
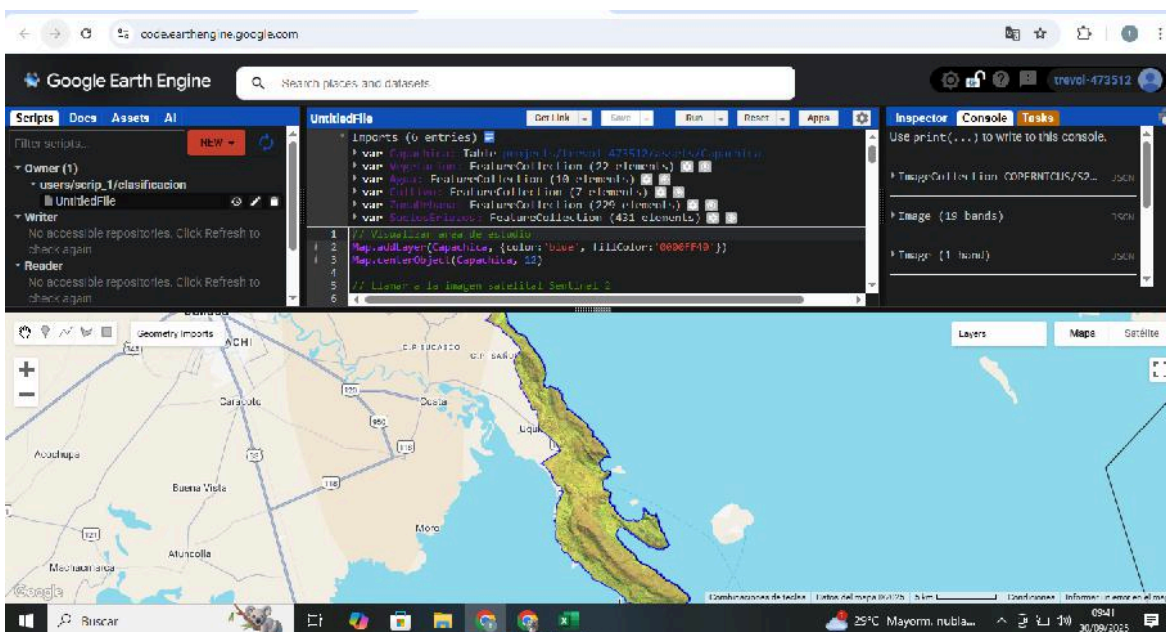


Reflectancia en la parte superior de la atmósfera

Reflectancia de la capa superior de la atmósfera ortorectificada de nivel 1C

Disponibilidad del conjunto de datos: Del 27/06/2015 al presente

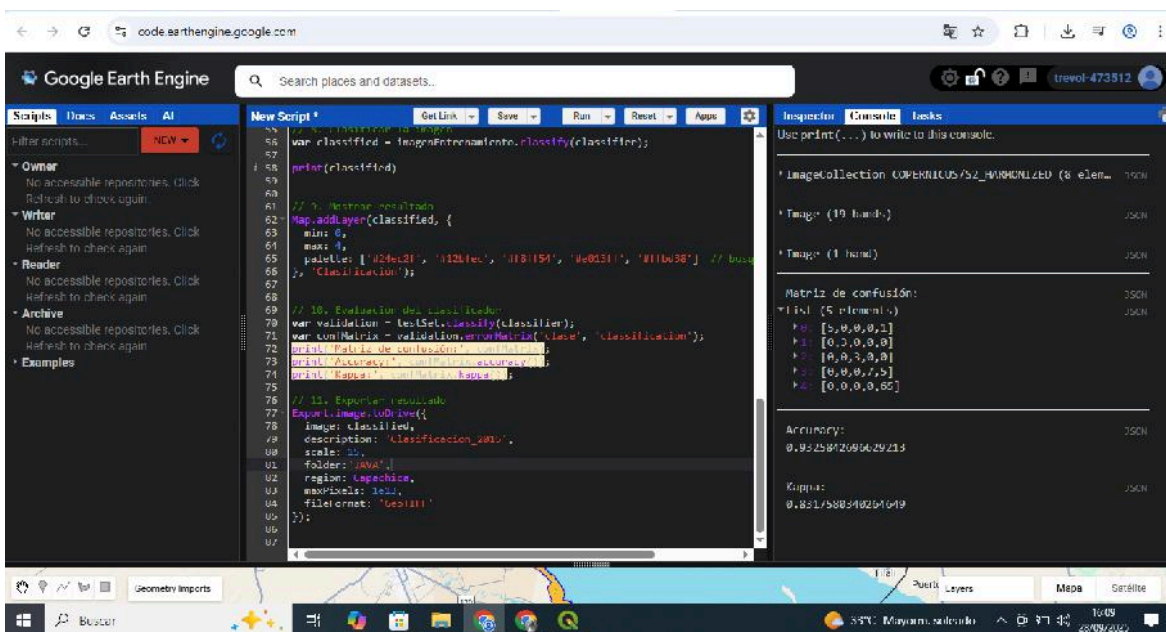
Anexo 03: Clasificación supervisada en Google Earth Engine.



Anexo 04: Área de la cobertura vegetal y uso de suelo del distrito de Capachica.

Año	Vegetación	Agua	Cultivos	Zona urbana	Suelos eriazos
2015	5.686	2.691	1.214	0.07	91.55
2016	4.029	2.358	1.135	0.066	92.958
2017	4.318	2.584	1.297	0.325	94.613
2018	2.998	1.941	1.41	0.262	93.14
2019	3.624	1.765	1.153	0.35	94.932
2020	2.99	1.535	1.6	0.365	98.088
2021	2.364	1.253	1.488	0.786	98.21
2022	3.16	1.291	1.626	0.497	97.692
2023	2.031	1.658	1.745	0.727	98.429
2024	2.136	1.132	1.902	0.806	98.984

Anexo 05: Validación del modelo Random Forest en Google Earth Engine.



```

// 7. Entrenamiento del clasificador
var classified = ImageEnterprise.classify(classifier);

// 8. Mostrar resultado
Map.addLayer(classified, {
  min: 0,
  max: 4,
  palette: ['#2eac21', '#1b1e20', '#1b1e20', '#e05d41', '#f16332'] // base
}, 'Classification');

// 9. Evaluación del clasificador
var validation = testSet.classify(classifier);
var conMatriz = validation.errorMatrix('class', 'classification');
print('Matriz de confusión:', conMatriz);
print('Accuracy:', conMatriz.accuracy());
print('Kappa:', conMatriz.kappa());

// 10. Exportar resultado
Export.image.toDrive({
  image: classified,
  description: 'Clasificación_2010',
  scale: 30,
  folder: 'AVA',
  region: {
    region: {
      north: 10.5,
      west: -78.5,
      east: -77.5,
      south: 10.5
    },
    fileFormat: 'GeoTIFF'
  });

```

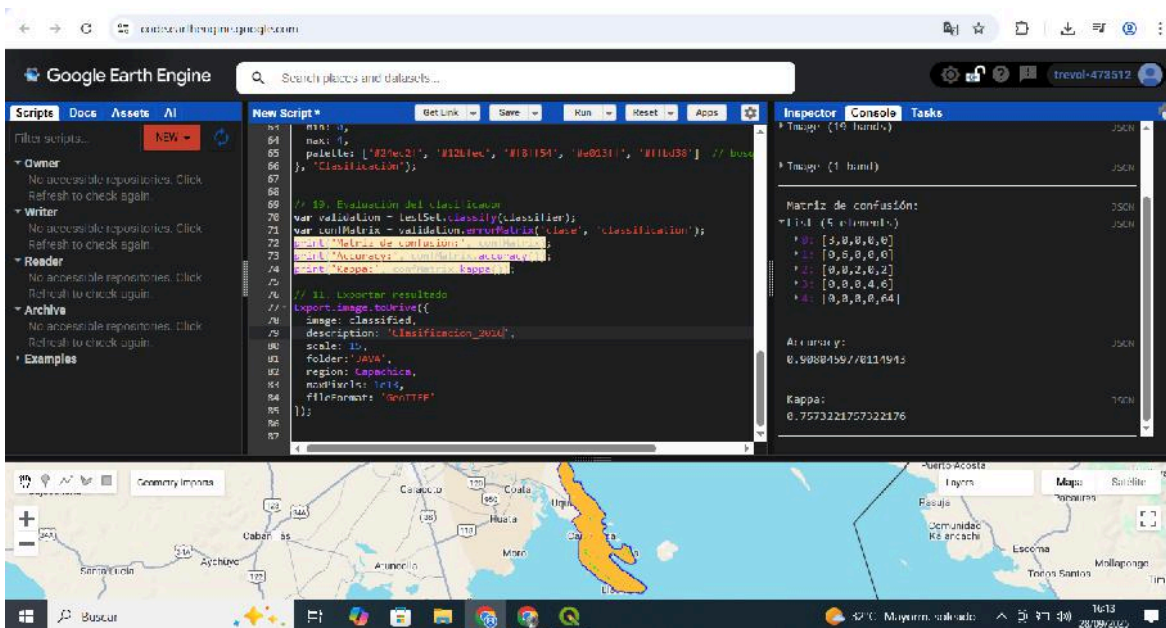
Inspector Console Tasks

Use print(...) to write to this console.

- ImageCollection COPERNICUS/S2_HARMONIZED (8 elem... 150M
- Tamaño: (19 bands) JSON
- Tamaño: (1 band) JSON
- Matriz de confusión: JSON
- 1x1 (5 elements) JSON

 - 0: [5,0,0,0,1]
 - 1: [0,0,0,0,0]
 - 2: [0,0,0,0,0]
 - 3: [0,0,0,0,5]
 - 4: [0,0,0,0,0]

- Accuracy: JSON
- 0.9325812695629213
- Kappa: JSON
- 0.8517588348261619



```

// 10. Evaluación del clasificador
var validation = testSet.classify(classifier);
var conMatriz = validation.errorMatrix('class', 'classification');
print('Matriz de confusión:', conMatriz);
print('Accuracy:', conMatriz.accuracy());
print('Kappa:', conMatriz.kappa());

// 11. Exportar resultado
Export.image.toDrive({
  image: classified,
  description: 'Clasificación_2010',
  scale: 30,
  folder: 'AVA',
  region: {
    region: {
      north: 10.5,
      west: -78.5,
      east: -77.5,
      south: 10.5
    },
    fileFormat: 'GeoTIFF'
  });

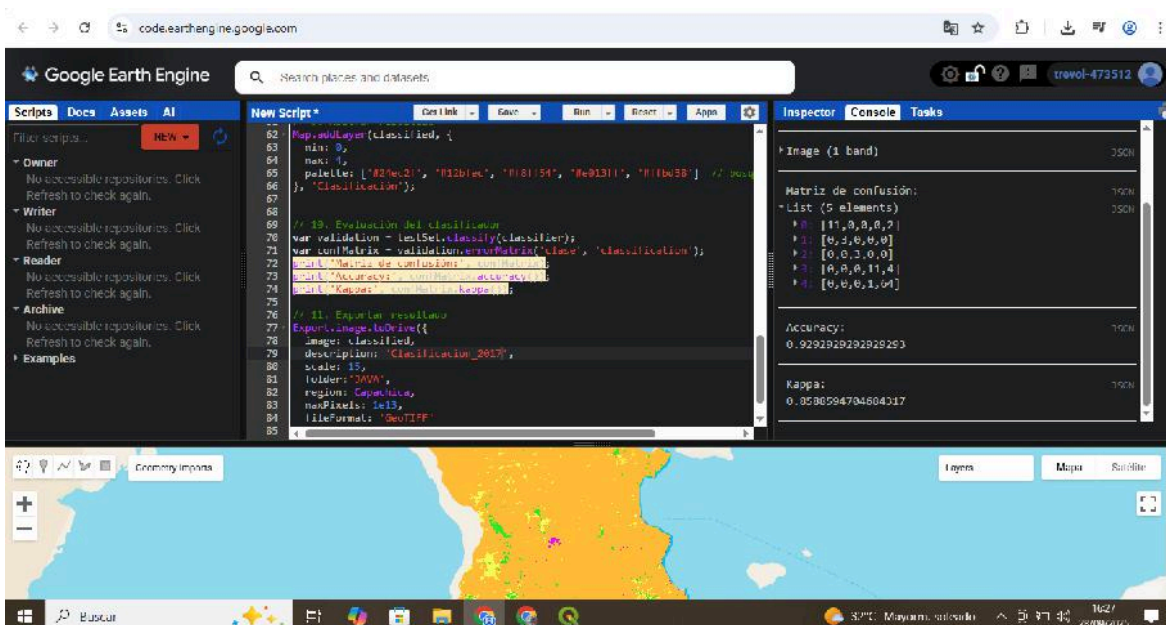
```

Inspector Console Tasks

- Tamaño: (19 bands) JSON
- Tamaño: (1 band) JSON
- Matriz de confusión: JSON
- 1x1 (5 elements) JSON

 - 0: [3,0,0,0,0]
 - 1: [0,0,0,0,0]
 - 2: [0,0,0,0,0]
 - 3: [0,0,0,0,2]
 - 4: [0,0,0,0,0]

- Accuracy: JSON
- 0.9088459778114943
- Kappa: JSON
- 0.7573221757322176



code.earthengine.google.com

Google Earth Engine

Search places and datasets

Scripts Docs Assets AI

New Script

```

62 Reparticion(classified, {
63   min: 0,
64   max: 4,
65   palette: ['#2ecc71', '#f1c40f', '#f18134', '#e91e63', '#f19e79'] // bosque
66 }, 'Clasificación');
67
68 // 10. Evaluación del clasificador
69 var validation = testSet.classify(classified);
70 var confMatrix = validation.confMatrix('class', 'classification');
71 print('Matriz de confusión:');
72 print('Accuracy: ' + accuracy);
73 print('Kappa: ' + kappa);
74
75 // 11. Exportar resultado
76 export.image.toDrive({
77   image: classified,
78   description: 'Clasificación_2017',
79   scale: 15,
80   folder: '2017',
81   region: 'Cape Verde',
82   noPixels: 1e13,
83   fileFormat: 'GeoTIFF'
84 });
85

```

Inspector Console Tasks

Image (1 band) JSON

Matriz de confusión: JSON

List (5 elements) JSON

```

0: [11,0,0,0,0]
1: [0,3,0,0,0]
2: [0,0,3,0,0]
3: [0,0,0,11,4]
4: [0,0,0,1,0]

```

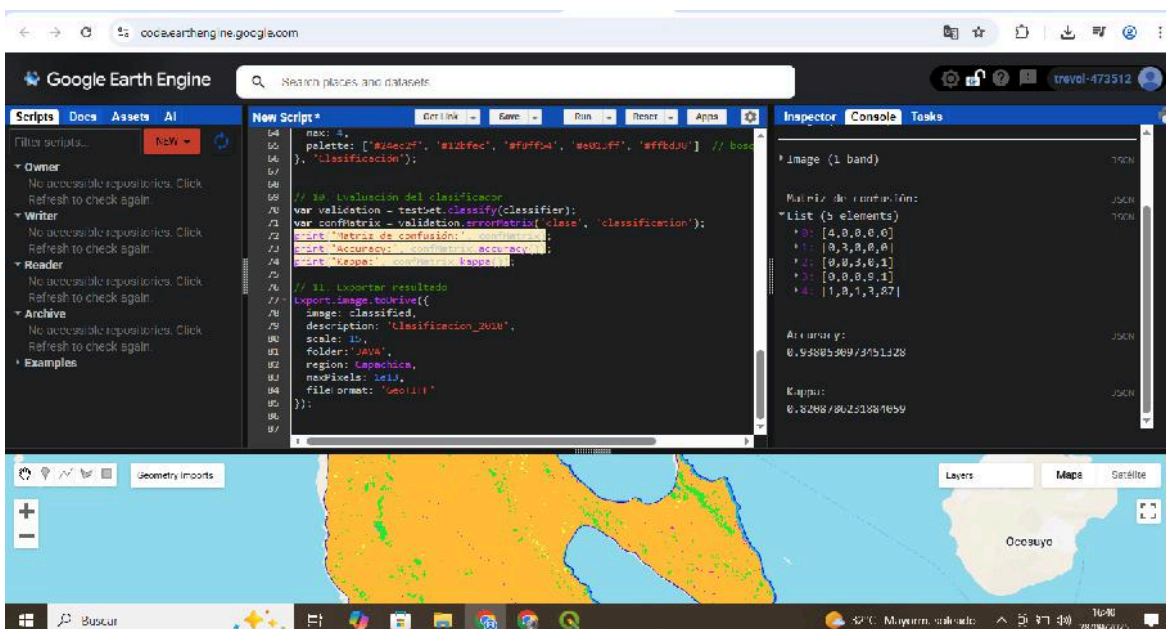
Accuracy: 0.9292929292929293 JSON

Kappa: 0.8596594704604317 JSON

Geometry imports

Layers Maps Satellite

32°C Mayaguez, Colombia 16:27 28/09/2017



code.earthengine.google.com

Google Earth Engine

Search places and datasets

Scripts Docs Assets AI

New Script

```

64 max: 4,
65 palette: ['#2ecc71', '#f1c40f', '#f18134', '#e91e63', '#f19e79'] // bosque
66 }, 'Clasificación');
67
68 // 10. Evaluación del clasificador
69 var validation = testSet.classify(classified);
70 var confMatrix = validation.confMatrix('class', 'classification');
71 print('Matriz de confusión:');
72 print('Accuracy: ' + accuracy);
73 print('Kappa: ' + kappa);
74
75 // 11. Exportar resultado
76 export.image.toDrive({
77   image: classified,
78   description: 'Clasificación_2018',
79   scale: 15,
80   folder: '2018',
81   region: 'Cape Verde',
82   noPixels: 1e13,
83   fileFormat: 'GeoTIFF'
84 });
85

```

Inspector Console Tasks

Image (1 band) JSON

Matriz de confusión: JSON

List (5 elements) JSON

```

0: [4,0,0,0,0]
1: [0,3,0,0,0]
2: [0,0,3,0,1]
3: [0,0,0,1]
4: [1,0,1,1,87]

```

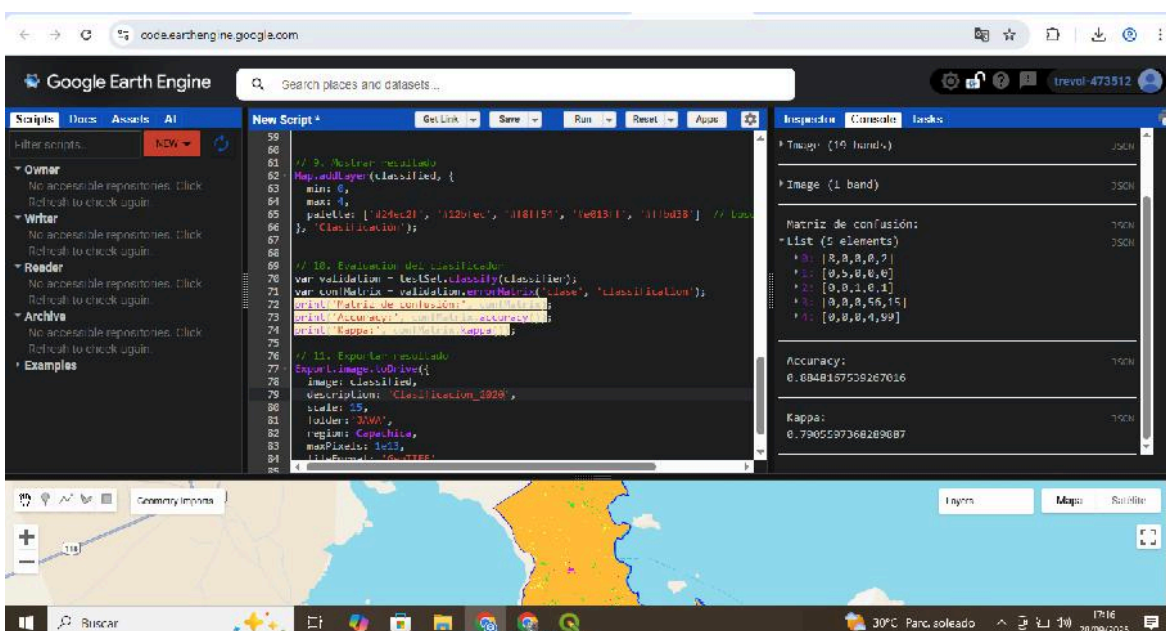
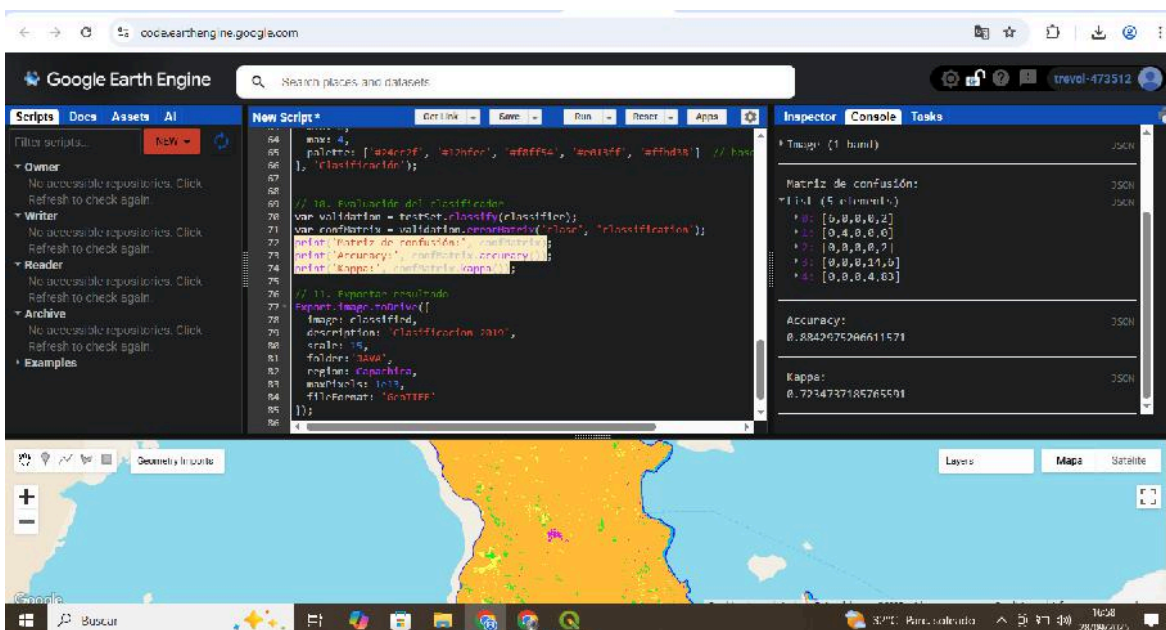
Accuracy: 0.9380530973751228 JSON

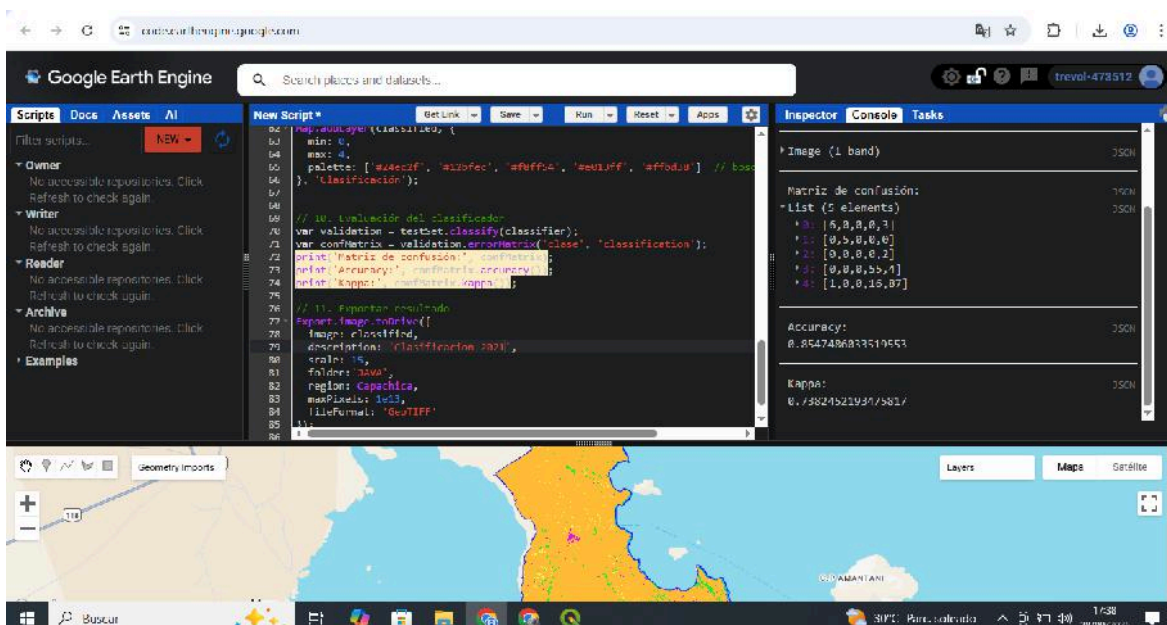
Kappa: 0.8288786251381059 JSON

Geometry imports

Layers Maps Satellite

32°C Mayaguez, Colombia 16:40 28/09/2017





The screenshot shows the Google Earth Engine console with a script for image classification. The script defines a palette, performs classification, and reports accuracy and kappa values. The Inspector panel on the right displays the results of the script execution.

```

// 0. Definir el área de estudio (AOI)
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([
  -78.5, -12.5, -77.5, -11.5
]);

// 1. Obtener la imagen de satélite
var image = ee.Image(' Landsat5/TM');

// 2. Definir la paleta de clasificación
var palette = {
  '1040000': 'Agua',
  '1020000': 'Bosque',
  '1030000': 'Cultivos',
  '1010000': 'Desnudo'
};

// 3. Clasificar la imagen
var classifier = ee.Classifier.smoothMax(
  ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
    ee.Projection('EPSG:4326'), {
      scale: 30,
      crs: 'EPSG:4326'
    })
);

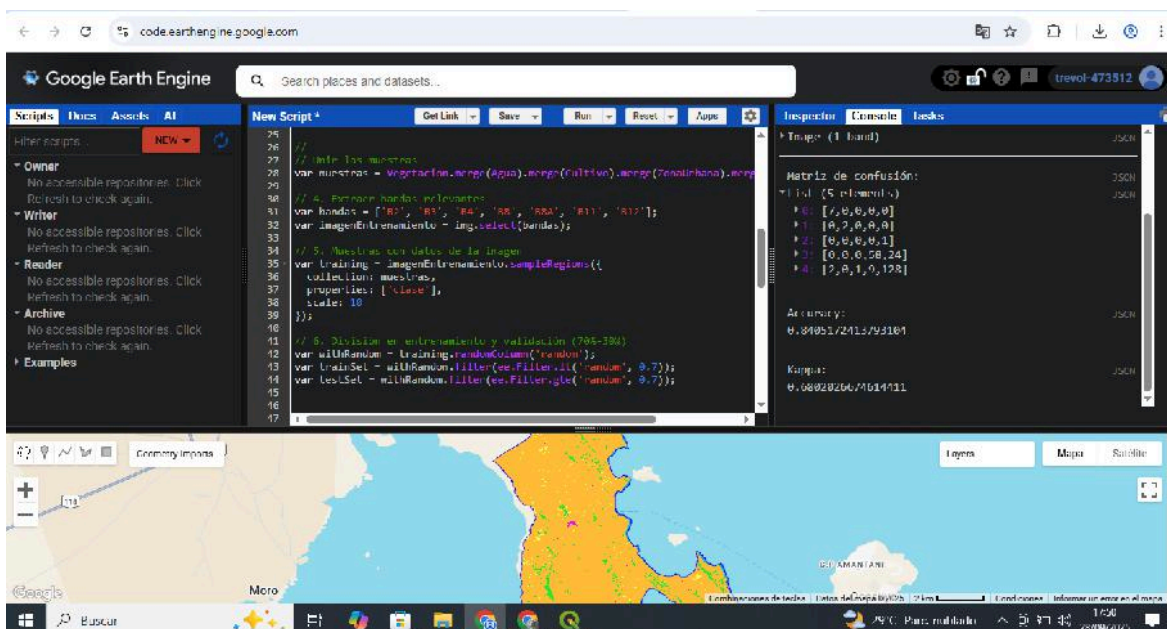
// 4. Ejecutar la clasificación
var classified = image.classify(classifier);

// 5. Reportar resultados
var report = ee.Dictionary({
  'imagen': classified,
  'matrizConfusion': ee.Dictionary({
    'matrizConfusion': ee.Dictionary({
      'Agua': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.95,
        'Bosque': 0.0,
        'Cultivos': 0.0,
        'Desnudo': 0.05
      }),
      'Bosque': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.0,
        'Bosque': 0.98,
        'Cultivos': 0.0,
        'Desnudo': 0.02
      }),
      'Cultivos': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.0,
        'Bosque': 0.0,
        'Cultivos': 0.99,
        'Desnudo': 0.01
      }),
      'Desnudo': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.0,
        'Bosque': 0.0,
        'Cultivos': 0.0,
        'Desnudo': 0.97
      })
    })
  })
});

// 6. Mostrar resultados
var map = ee.MapView(aoi);
map.addLayer(classified);
map.addLayer(report);
  
```

Inspector Console Tasks

- Image (1 band) JSOJ
- Matriz de confusión: JSOJ
- List (5 elements) JSOJ
 - 0: [0.95, 0.0, 0.0, 0.05]
 - 1: [0.0, 0.98, 0.0, 0.02]
 - 2: [0.0, 0.0, 0.99, 0.01]
 - 3: [0.0, 0.0, 0.0, 0.97]
- Accuracy: JSOJ
0.8547486833519553
- Kappa: JSOJ
0.7882492193775817



The screenshot shows the Google Earth Engine console with a script for training a classifier. The script defines training and validation regions, performs training, and reports accuracy and kappa values. The Inspector panel on the right displays the results of the script execution.

```

// 1. Definir el área de estudio (AOI)
var aoi = ee.Geometry.Rectangle([
  -78.5, -12.5, -77.5, -11.5
]);

// 2. Obtener la imagen de satélite
var image = ee.Image(' Landsat5/TM');

// 3. Definir las regiones de entrenamiento y validación
var trainingRegions = ee.Geometry.Rectangle([
  -78.5, -12.5, -77.5, -11.5
]);
var validationRegions = ee.Geometry.Rectangle([
  -78.5, -12.5, -77.5, -11.5
]);

// 4. Definir la paleta de clasificación
var palette = {
  '1040000': 'Agua',
  '1020000': 'Bosque',
  '1030000': 'Cultivos',
  '1010000': 'Desnudo'
};

// 5. Ejecutar el entrenamiento y validación
var training = ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
  ee.Projection('EPSG:4326'), {
    scale: 30,
    crs: 'EPSG:4326'
  });
var validation = ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
  ee.Projection('EPSG:4326'), {
    scale: 30,
    crs: 'EPSG:4326'
  });

// 6. Dividir en entrenamiento y validación (70%-30%)
var trainSet = ee.FeatureCollection(
  ee.FeatureCollection.fromImages(
    ee.List.sequence(0, 99).map(function(i) {
      return ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
        ee.Projection('EPSG:4326'), {
          scale: 30,
          crs: 'EPSG:4326'
        })
    })
  )
);
var valSet = ee.FeatureCollection(
  ee.FeatureCollection.fromImages(
    ee.List.sequence(0, 99).map(function(i) {
      return ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
        ee.Projection('EPSG:4326'), {
          scale: 30,
          crs: 'EPSG:4326'
        })
    })
  )
);

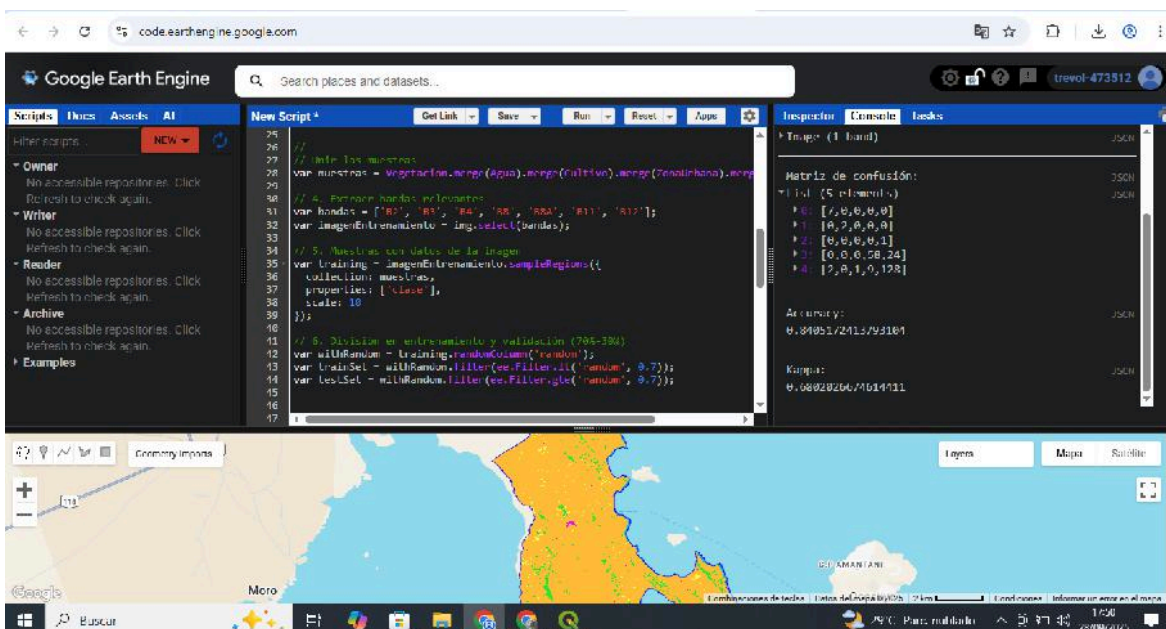
// 7. Ejecutar el entrenamiento y validación
var classifier = ee.Classifier.train(
  ee.FeatureCollection.fromImages(
    ee.List.sequence(0, 99).map(function(i) {
      return ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
        ee.Projection('EPSG:4326'), {
          scale: 30,
          crs: 'EPSG:4326'
        })
    })
  ),
  ee.FeatureCollection.fromImages(
    ee.List.sequence(0, 99).map(function(i) {
      return ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
        ee.Projection('EPSG:4326'), {
          scale: 30,
          crs: 'EPSG:4326'
        })
    })
  ),
  ee.Dictionary({
    'matrizConfusion': ee.Dictionary({
      'Agua': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.97,
        'Bosque': 0.0,
        'Cultivos': 0.0,
        'Desnudo': 0.03
      }),
      'Bosque': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.0,
        'Bosque': 0.99,
        'Cultivos': 0.0,
        'Desnudo': 0.01
      }),
      'Cultivos': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.0,
        'Bosque': 0.0,
        'Cultivos': 0.98,
        'Desnudo': 0.02
      }),
      'Desnudo': ee.Dictionary({
        'Agua': 0.0,
        'Bosque': 0.0,
        'Cultivos': 0.0,
        'Desnudo': 0.96
      })
    })
  })
);

// 8. Reportar resultados
var report = ee.Dictionary({
  'imagen': ee.Image(image).select(['B4', 'B3', 'B2', 'B1']).reproject(
    ee.Projection('EPSG:4326'), {
      scale: 30,
      crs: 'EPSG:4326'
    })
  })
);

// 9. Mostrar resultados
var map = ee.MapView(aoi);
map.addLayer(classified);
map.addLayer(report);
  
```

Inspector Console Tasks

- Image (1 band) JSOJ
- Matriz de confusión: JSOJ
- List (5 elements) JSOJ
 - 0: [0.97, 0.0, 0.0, 0.03]
 - 1: [0.0, 0.99, 0.0, 0.01]
 - 2: [0.0, 0.0, 0.98, 0.02]
 - 3: [0.0, 0.0, 0.0, 0.96]
- Accuracy: JSOJ
0.8495172415793104
- Kappa: JSOJ
0.6802826671614911



code.earthengine.google.com

Google Earth Engine

Search places and datasets...

Scripts Docs Assets AI

New Script +

```

25
26 //
27 // 3. Inicializar las muestras
28 var muestras = ee.ImageCollection.fromImages(
29   ee.List('B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8').map(function(banda) {
30     ee.Image(banda).select([banda]);
31   }));
32 // 4. Preparar bandas de entrenamiento
33 var imagenesEntrenamiento = img.select(muestras);
34 // 5. Realizar un entrenamiento de la imagen
35 var training = imagenEntrenamiento.classifyRegions({
36   collection: muestras,
37   properties: ['class'],
38   scale: 10
39 });
40 // 6. División en entrenamiento y validación (70%-30%)
41 var withRandom = training.randomColumns('random');
42 var trainSet = withRandom.filter(ee.Filter.lt('random', 0.7));
43 var testSet = withRandom.filter(ee.Filter.gte('random', 0.7));
44
45
46
47

```

Inspector Console Tasks

Image (1 band) JSCH

Matriz de confusión: JSCH

```

[ [ [5,0,0,0]
  [0,7,0,0]
  [0,0,0,1]
  [0,0,0,24]
  [2,0,1,0,128]

```

Accuracy: JSCH

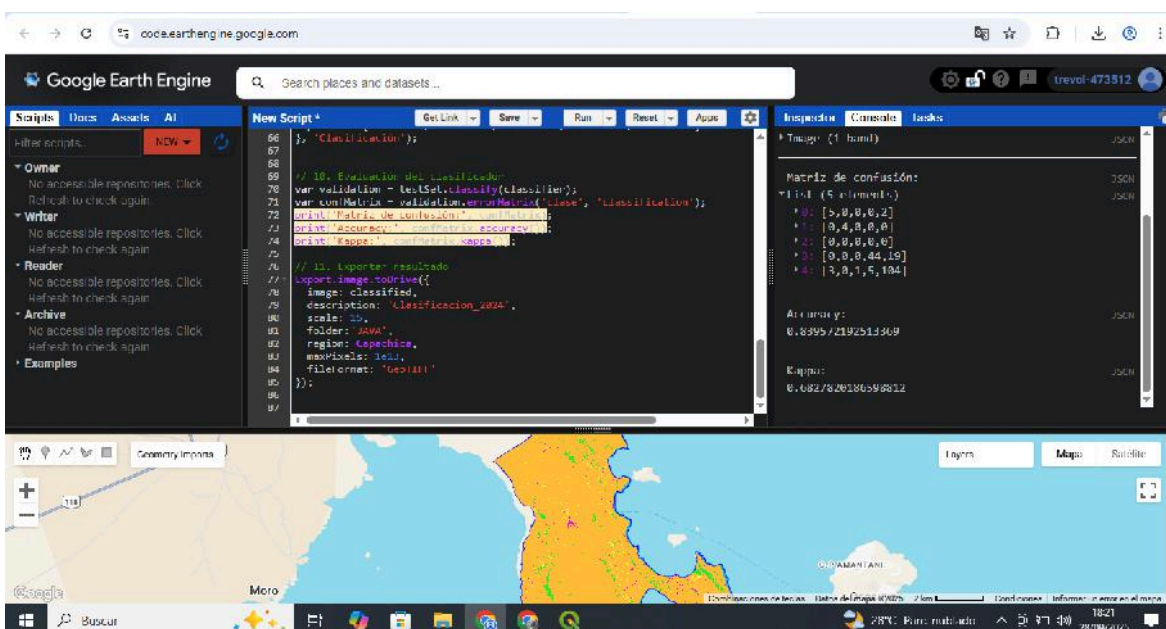
0.8495172415793164

Kappa: JSCH

0.689282667614411

Layers Mapa Satellite

28°C Puro, multimedios 18:21 28/09/2022



code.earthengine.google.com

Google Earth Engine

Search places and datasets...

Scripts Docs Assets AI

New Script +

```

66 }, 'Classification');
67
68 // 10. Evaluación del clasificador
69 var validation = testSet.classify(classifier);
70 var confMatriz = ee.Dictionary.fromArrays('class', 'Classification');
71 print('Matriz de confusión');
72 print('Accuracy: ' + ee.Number(validation.accuracy));
73 print('Kappa: ' + ee.Number(validation.kappa));
74
75
76 // 11. Reportar resultado
77 export.image.toDrive({
78   image: validation,
79   description: 'Classification_2024',
80   scale: 10,
81   folder: 'Java',
82   region: 'Peru',
83   maxPixels: 1e13,
84   fileFormat: 'GeoTIFF'
85 });
86
87

```

Inspector Console Tasks

Image (1 band) JSCH

Matriz de confusión: JSCH

```

[ [ [5,0,0,2]
  [0,4,0,0]
  [0,0,0,0]
  [0,0,0,44,19]
  [3,0,1,5,194]

```

Accuracy: JSCH

0.83952192513369

Kappa: JSCH

0.6827826186398812

Layers Mapa Satellite

28°C Puro, multimedios 18:21 28/09/2022

Anexo 06: Mapas temáticos.

